

7 Kalibrierung 1980-2003

7.1 Anpassung der modellierten Verdunstungshöhen an die Lysimetermessungen

7.1.1 Allgemeines

Die Kalibrierung der verdunstungsbeeinflussenden Parameter an den Messwerten der Lysimeter am Standort Brandis ist naheliegend, befindet sich die Station doch innerhalb des Einzugsgebietes und liegen von ihr neben den Messwerten zusätzlich die phänologischen Entwicklungsdaten der Pflanzen auf den Lysimetern vor. Um diese Vorgabe ausführen zu können, war das Zonengrid um Einzelzellen zu erweitern, die am Lysimeterstandort lokalisiert sind. Im unmittelbaren Bereich von Brandis sind dazu 9 Zellen, die mit Landwirtschaft belegt sind, ausgewählt worden. Darüber hinaus waren für sie die jeweiligen geologischen Profile in die *soil_table* einzufügen.

Zum Vergleich der Modellergebnisse sind jedes Mal die drei Wiederholungen der Lysimeter herangezogen worden.

Die Lysimeterstation stellte die Ergebnisse der phänologischen Beobachtungen der Pflanzenentwicklung von 1980 bis zum November 1999 zur Verfügung. Auf dieser Grundlage konnten die meisten Parameter noch konkreter abgeschätzt werden.

Der Vegetationsbeginn lag in diesem Zeitraum zwischen dem 51. Tag und 95. Tag, im Schnitt am 71. Tag (12. März), das Ende der Vegetationsperiode wurde zwischen dem 298. Tag und 341. Tag beobachtet, im Schnitt am 320. Tag (16. November).

Die konkrete Belegung der Lysimeter mit den entsprechenden landwirtschaftlichen Nutzpflanzen der umgebenden Äcker gab die zu betrachtenden Kalenderjahre vor. Zur Modellierung wurden nach Möglichkeit dann aber die mittleren Niederschlagsjahre ausgewählt.

Für die einzelnen Feldfruchtarten waren in mehreren Zyklen jeweils 3-11 Tests notwendig, um eine optimale Anpassung der Modellergebnisse an die Messwerte zu erhalten (verdunstungsbeeinflussende Parameter der *landuse_table*).

7.1.2 Wintergetreide

Die Anpassung erfolgte für das Jahr 1988 (Winterweizen). Die Ergebnisse sind in der Tabelle 14 zusammengestellt.

Tabelle 14: Vergleich der Verdunstungshöhen für Winterweizen (**Modell: ETR +EI**) 1988

1988	[mm]					[%]
	Modell	Lys_Messg_1	Lys_Messg_2	Lys_Messg_3	Lys_Messg_Mittel	Modell_zu_Messg
WaSiM-ETH_Lys_1	459,2	474,0	482,6	492,5	483	-4,9
WaSiM-ETH_Lys_4	429,5	466,9	471,8	460,2	466	-7,9
WaSiM-ETH_Lys_5	448,6	450,4	433,8	434,9	440	2,0
WaSiM-ETH_Lys_7	461,1	518,6	517,8	585,6	541	-14,7
WaSiM-ETH_Lys_8	429,0	463,6	496,1	474,8	478	-10,3
WaSiM-ETH_Lys_9	670,7	620,3	622,4	625,0	623	7,7
WaSiM-ETH_Lys_10	675,0	605,5	512,4	617,8	579	16,7
WaSiM-ETH_Lys_11	459,4	475,8	503,2	487,0	489	-6,0
					Mittel	-2,2

Im Schnitt über alle Lysimeter sind lediglich 2,2 % zu wenig Verdunstung berechnet worden. Wie für alle weiteren landwirtschaftlichen Nutzpflanzen auch bestehen in den "Löss-Lysimetern" Lys 9 und Lys 10 auf Grund des höheren Wasserspeichervermögens die besten Möglichkeiten der Pflanzen zur Transpiration. Auf diesen Lysimetern werden die größten Verdunstungshöhen gemessen, die im Bereich des Jahresniederschlages liegen. WaSiM-ETH berechnet sogar noch etwas höhere Verdunstungsmengen. In allen anderen Lysimetern berechnet das Modell 5-15 % weniger Verdunstung als gemessen wurde.

In den folgenden Abbildungen zur Verdunstung sind die an den Lysimetern gemessenen Werte durch gelbe Linien, die mit WaSiM-ETH erhaltenen Simulationsergebnisse durch rostbraune Linien gekennzeichnet.

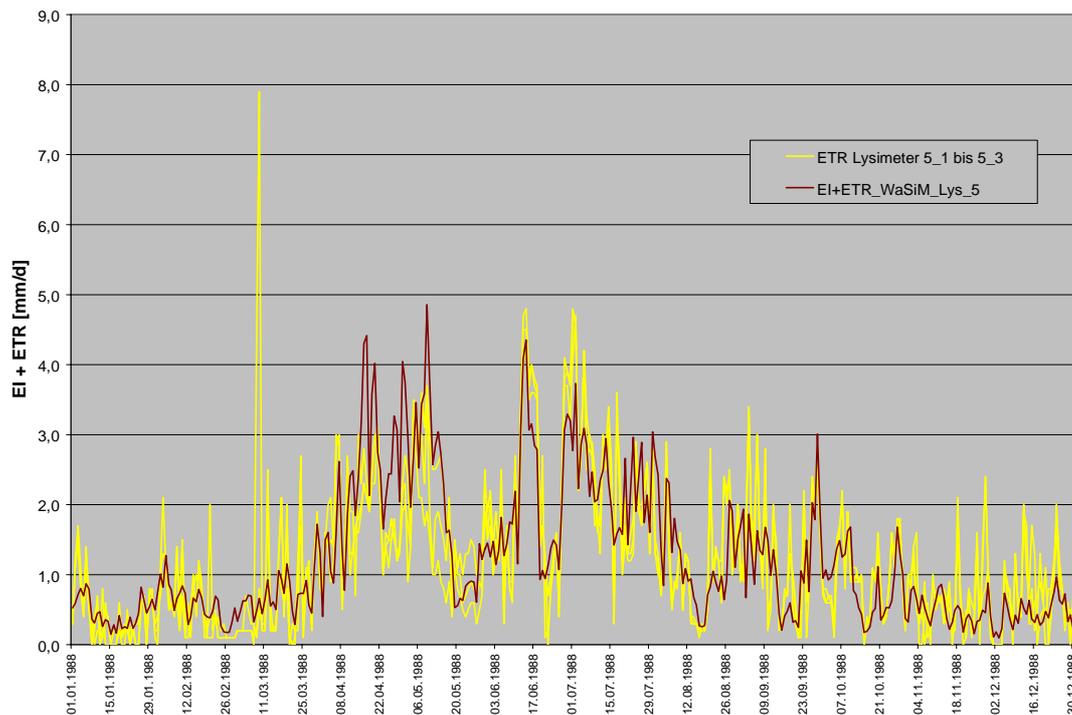


Abbildung 15: Gemessene und modellierte Verdunstung, Lysimeter 5, Wintergetreide 1988

Am Beispiel des Lysimeters 5 ist eine allgemein sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Modellergebnis abzulesen (Abbildung 15). Es fällt ein Ausreißer in den Messergebnissen auf und eine länger anhaltende zu hoch modellierte Verdunstung von Anfang April bis Mitte/Ende Mai. Diese Periode fällt zwischen die Termine d_1 (Vegetationsbeginn) und d_2 (volle Entfaltung der Vegetation).

Die Differenzen zwischen Messung (Lys_ETR_5_1 bis Lys_ETR_5_3) und Modellergebnis (Wasim_5) schwanken meist um den Nullpunkt (Abbildung 16). Der o. g. Entwicklungsbereich ist durch die negativen Differenzen gekennzeichnet.

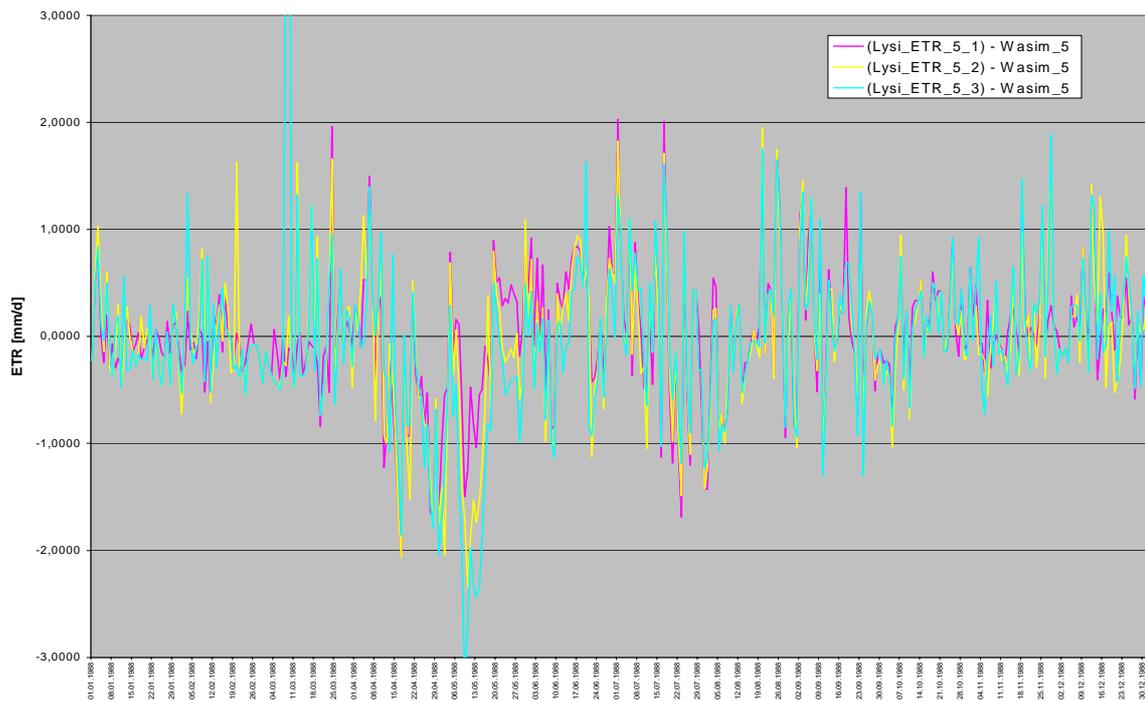


Abbildung 16: Differenzen zwischen gemessener und modellierter Verdunstung, Wintergetreide 1988

Im Lösslysimeter 9 (Abbildung 17) wird im Sommer über dem Getreide zum Teil fast die doppelte Verdunstungshöhe gemessen wie über dem Lysimeter 5. Vom Modell wird dies nur zum Teil adäquat wiedergegeben.

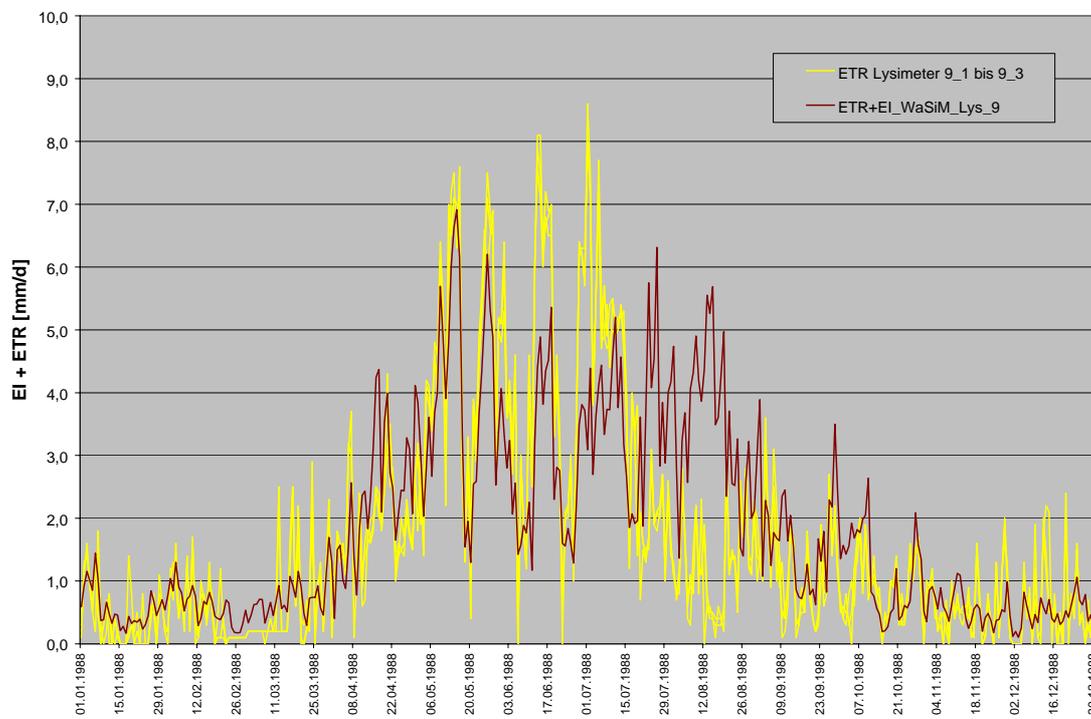


Abbildung 17: Gemessene und modellierte Verdunstung, Lysimeter 9, Wintergetreide 1988

Dagegen simuliert WaSiM-ETH von Mitte Juli bis Anfang September deutlich zu viel Verdunstung. Diese Zeitspanne beschreibt den letzten Bereich zwischen d_2 und d_3 , was die Zeit zwischen Vollreife, Ernte und Aussaat der Wintergerste betrifft. An dieser Stelle wären monatlich Angaben in der *landuse_table* angebracht, um solche kurzzeitige Veränderungen im Vegetationsbedeckungsrad berücksichtigen zu können.

7.1.3 Zuckerrüben

Anpassungen der Parameter erfolgten für die Jahre 1981 und 1990.

Tabelle 15: Vergleich der Verdunstungshöhen für Zuckerrüben (Modell: ETR + EI) 1981

Zucker R 107: _T8 1981	[mm]					[%] Modell_zu_Messg
	Modell	Lys_Messg_1	Lys_Messg_2	Lys_Messg_3	Lys_Messg_Mittel	
WaSiM-ETH_Lys_1	520,4	578,1	598,9		589	-11,6
WaSiM-ETH_Lys_4	490,7	533	542,1	567,3	547	-10,4
WaSiM-ETH_Lys_5	512,6	510,9	493,4	488,1	497	3,0
WaSiM-ETH_Lys_7	517,2	559,8	585,4		573	-9,7
WaSiM-ETH_Lys_8	489,7	519,9	566,1	532,6	540	-9,2
WaSiM-ETH_Lys_9	577,4	674,6	696,7	681,9	684	-15,6
WaSiM-ETH_Lys_10	591,6	720,7	673,5	742	712	-16,9
WaSiM-ETH_Lys_11	526,5	659,6	646,2	597,9	635	-17,0
					Mittel	-10,9

Tabelle 16: Vergleich der Verdunstungshöhen für Zuckerrüben (Modell: ETR +EI) 1990

ZuckerR 107: _T1: alle Parameter wie 1981 1990	[mm]					[%] Modell_zu_Messg.
	Modell	Lys_Messg_1	Lys_Messg_2	Lys_Messg_3	Lys_Messg_Mittel	
WaSiM-ETH_Lys_1	459,8	597,0	633,3	601,6	611	-24,7
WaSiM-ETH_Lys_4	450,7	593,7	596,2	602,2	597	-24,5
WaSiM-ETH_Lys_5	459,1	554	525,2	520,9	533	-13,9
WaSiM-ETH_Lys_7	470,6	592,6	616,6	624	611	-23,0
WaSiM-ETH_Lys_8	451,9	562,7	603,9	586,8	584	-22,7
WaSiM-ETH_Lys_9	748,1	723,8	669,2	675,3	689	8,5
WaSiM-ETH_Lys_10	777,0	695,9	743,3	707,4	716	8,6
WaSiM-ETH_Lys_11	460,4	628,9	650,7	652,5	644	-28,5
					Mittel	-15,0

Die Ergebnisse zeigen die Tabelle 15 und

Tabelle 16. 1981 ist ein sehr nasses Jahr, 1990 ein eher trockenes. Im Schnitt modelliert WaSiM-ETH für beide Jahre zu wenig ETR (aktuelle Verdunstung), die Mindermengen bewegen sich zwischen -11 % und -15 % im Verhältnis zur Messung. Dabei werden im feuchten Jahr 1981 für die Lösslysimeter die größten Fehlmengen modelliert, was im Verhältnis zu den anderen Fruchtarten und Jahren ungewöhnlich ist.

Die stärkste Wirkung auf die Veränderung der ETR hat im gegebenen Falle die Veränderung der effektiven Vegetationshöhe. Für das Jahr 1991 sind im Verhältnis zum deutlich feuchteren Jahr 1981 keine Parameteränderungen durchgeführt worden.

Die Abbildung 18 zeigt für das Lysimeter 11 ein Beispiel mit starker Abweichung zwischen Messung und Modellergebnis. WaSiM-ETH berechnet vor dem Beginn der Vegetationsperiode und zu bzw. nach deren Ende deutlich zu wenig reale Evapotranspiration. Weiterhin ist ersichtlich, dass die Lysimetermessungen an einigen Tagen im Frühjahr deutliche Ausreißer produzieren (10-11 mm/d). Im Schnitt werden im feuchten Jahr 1981 in den Sommermonaten über den Rüben 5 mm pro Tag verdunstet, auf den Lösslysimetern sogar 5-7 mm/d.

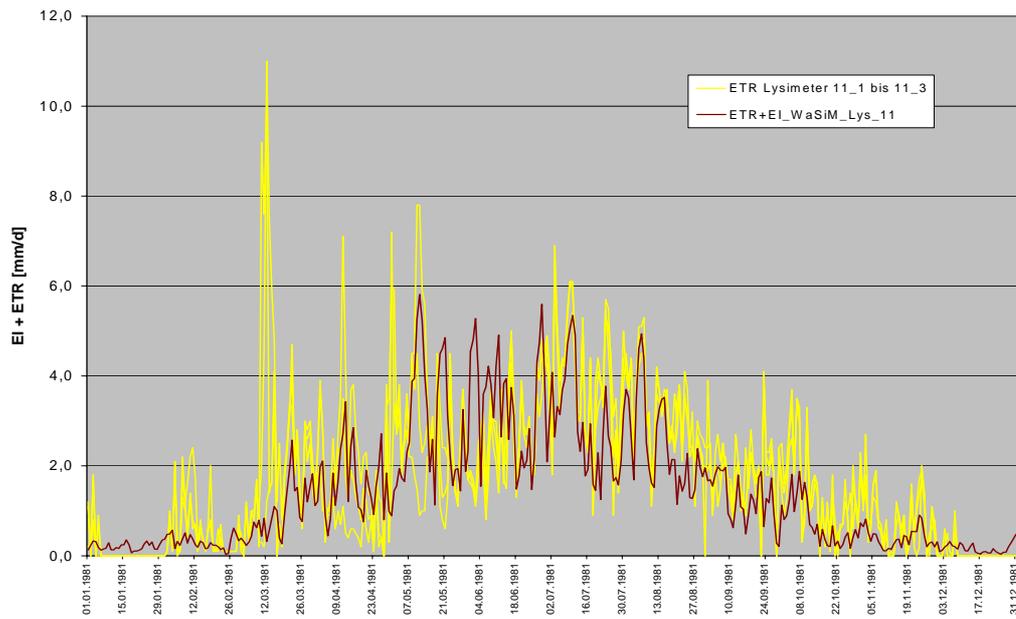


Abbildung 18: Gemessene und modellierte Verdunstung, Lysimeter 11, Zuckerrübe 1981

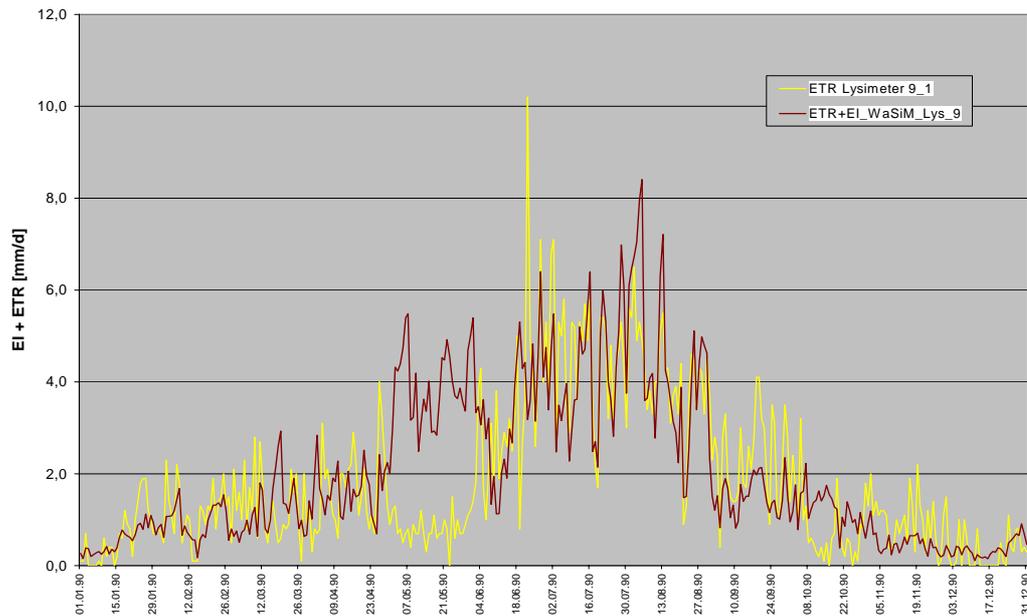


Abbildung 19: Gemessene und modellierte Verdunstung, Lysimeter 9, Zuckerrübe 1990

Die Abbildung 19 für das trockene Jahr 1990 zeigt für die Zuckerrüben auf dem Lösslysimeter 9 im Frühjahr eine längere Periode, in der WaSiM-ETH deutlich zu viel Verdunstung modelliert: das betrifft die Zeit zwischen dem Aufgang der Saat (24.-28.04.1990) und dem Vorliegen eines geschlossenen Bestandes (07.06.1990) (entspricht d_2). Im Vergleich mit den anderen Ergebnissen (Zuckerrübe) scheinen aber die modellierten Verdunstungshöhen in diesem Zeitraum nicht unplausibel zu sein.

7.1.4 Futtergras und Futterklee

Die Parameteranpassungen erfolgten für die Jahre 1984 und 1995. 1984 ist als ein mittleres, 1995 als ein stark nasses Niederschlagsjahr einzustufen.

Tabelle 17: Vergleich der Verdunstungshöhen für Futter (Modell: ETR + EI) 1984

FutterGr 121: _T2_6 1984	[mm]					Modell_zu_Messg
	Modell	Lys_Messg_1	Lys_Messg_2	Lys_Messg_3	Lys_Messg_Mittel	
WaSiM-ETH_Lys_1	482,5	542,4	543,0	557,8	548	-11,9
WaSiM-ETH_Lys_4	420,9	534,8	519,4	528,8	528	-20,2
WaSiM-ETH_Lys_5	442,4	521,1	509,5	497,5	509	-13,1
WaSiM-ETH_Lys_7	469,4	552	557,1	586,2	565	-16,9
WaSiM-ETH_Lys_8	419,1	531,7	537,3	525,3	531	-21,1
WaSiM-ETH_Lys_9	556,1	585,2	590,9	579,4	585	-5,0
WaSiM-ETH_Lys_10	558,6	578,1	584	573,3	578	-3,4
WaSiM-ETH_Lys_11	459,2	555,5	581,2	546,5	561	-18,2
					Mittel	-13,7

Tabelle 18: Vergleich der Verdunstungshöhen für Futter (Modell: ETR + EI) 1995

FutterGr 121: _T1_3 1995	[mm]					Modell_zu_Messg
	Modell	Lys_Messg_1	Lys_Messg_2	Lys_Messg_3	Lys_Messg_Mittel	
WaSiM-ETH_Lys_1	567,1	701,3	689,2	707,2	699	-18,9
WaSiM-ETH_Lys_4	531,0	684,8	686,6	699,7	690	-23,1
WaSiM-ETH_Lys_5	564,2		608,9	580,9	595	-5,2
WaSiM-ETH_Lys_7	569,1	572,9	681,7		627	-9,3
WaSiM-ETH_Lys_8	531,4	582,6	681,5	630,1	631	-15,8
WaSiM-ETH_Lys_9	668,2	784,1	759,9	803,4	782	-14,6
WaSiM-ETH_Lys_10	669,1	899		939,8	919	-27,2
WaSiM-ETH_Lys_11	566,3	660,5	689,1	650,3	667	-15,0
					Mittel	-16,1

Für beide Kulturen werden im Schnitt 14-16 % zu wenig Verdunstung simuliert (Tabelle 17, Tabelle 18). Im Jahr 1984 bestand das ganze Jahr über Grasbedeckung, so dass im Falle der Lösslysimeter die Verdunstung durch das Programm gut nachgebildet wurde (Abbildung 20). Längere Bereiche mit Schwarzbrache fehlten hier.

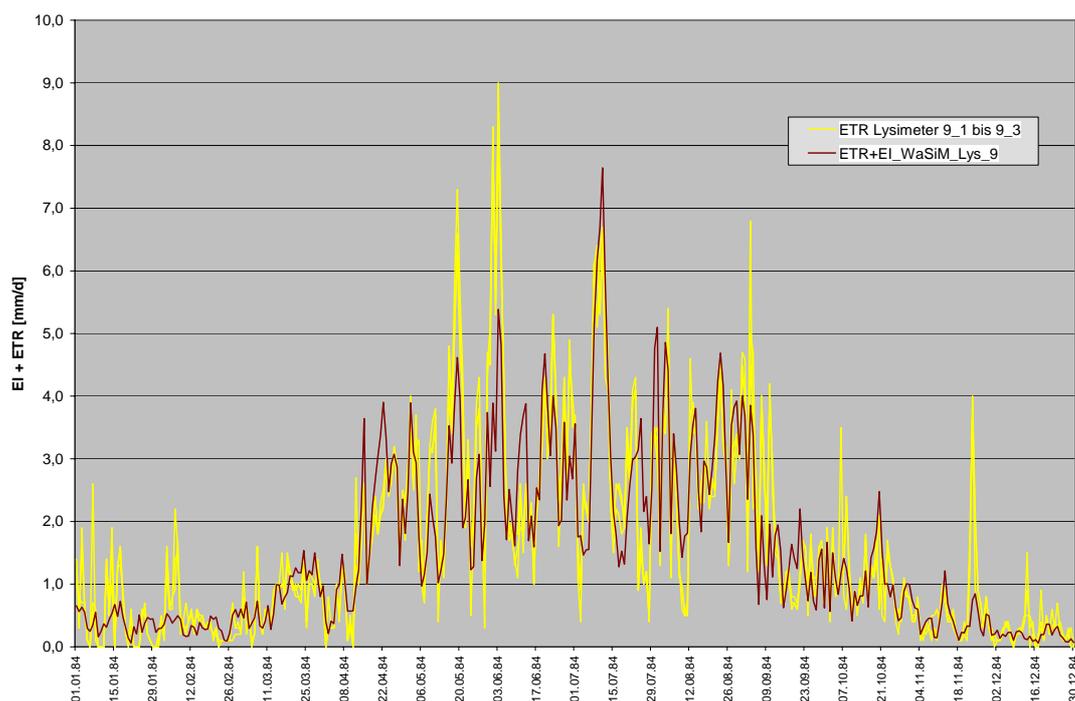


Abbildung 20: Gemessene und modellierte Verdunstung, Lysimeter 9, Futtergras 1984

7.1.5 Kartoffeln

Die Parameter sind für das Jahr 1985 angepasst und ebenso für die Jahre 1987 und 1996, in denen auf den Lysimetern auch Kartoffeln angebaut wurden, als Simulationsgrundlage benutzt worden.

Tabelle 19: Vergleich der Verdunstungshöhen für Kartoffeln (Modell: ETR + EI) 1985

Kartof108: _T2 1985	[mm]					[%]
	Modell	Lys_Messg_1	Lys_Messg_2	Lys_Messg_3	Lys_Messg_Mittel	Modell_zu_Messg
WaSiM-ETH_Lys_1	420,7	450,9	455,1	452,4	453	-7,1
WaSiM-ETH_Lys_4	372,1	449,6	440,6	442,6	444	-16,2
WaSiM-ETH_Lys_5	387,4	413,3	419,2	417,8	417	-7,0
WaSiM-ETH_Lys_7	415,4	466,3	457,9	497,7	474	-12,4
WaSiM-ETH_Lys_8	372,4	430,7	446,9	440,5	439	-15,2
WaSiM-ETH_Lys_9	529,7	488,5	479,3	486,4	485	9,3
WaSiM-ETH_Lys_10	538,8	514	499,2	488,1	500	7,7
WaSiM-ETH_Lys_11	404,6	442,4	453,2	441,7	446	-9,2
					Mittel	-6,3

Am besten gelang die Anpassung für das Jahr 1985 (Tabelle 19). Mit denselben Parametern betrug die Abweichung 1987 -14,3 % zu den Messungen und 1996 -25 % zu den Messungen.

Die größte jährliche Verdunstung erfolgt an den Lösslysimetern, was durch die Simulationen mit WaSiM-ETH auch nachgebildet wird. Im Verhältnis zu den anderen Standorten (7-15 % weniger) modelliert hier das Programm sogar mehr Verdunstung als gemessen wurde (8-10 % mehr). Tendenziell ist das auch in den anderen Jahren so (Tabelle 20).

Tabelle 20: Vergleich der Verdunstungshöhen für Kartoffeln (Modell: ETR + EI) 1987

Kartof108: _T2_1 1987	[mm]					Modell_zu_Messg	[%]
	Modell	Lys_Messg_1	Lys_Messg_2	Lys_Messg_3	Lys_Messg_Mittel		
WaSiM-ETH_Lys_1	452,7	522,3	501,3	513,3	512	-11,6	
WaSiM-ETH_Lys_4	386,1	519,2	507	506,4	511	-24,4	
WaSiM-ETH_Lys_5	432,7	484,7	488,6	480,8	485	-10,7	
WaSiM-ETH_Lys_7	450,0	524,2	510,6	580,7	539	-16,4	
WaSiM-ETH_Lys_8	381,7	502,1	491	503,8	499	-23,5	
WaSiM-ETH_Lys_9	459,4	511,2	516,9	506,7	512	-10,2	
WaSiM-ETH_Lys_10	462,6	509,5	498,4	491,2	500	-7,4	
WaSiM-ETH_Lys_11	445,2	501,4	506,3	476,5	495	-10,0	
					Mittel	-14,3	

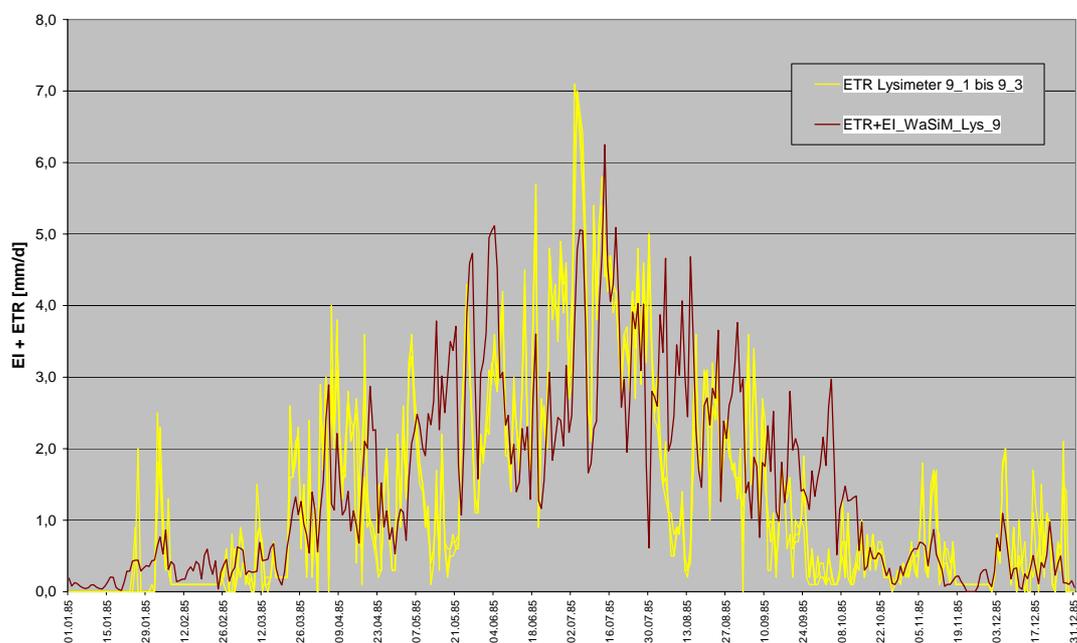


Abbildung 21: Gemessene und modellierte Verdunstung, Lysimeter 9, Kartoffeln 1985

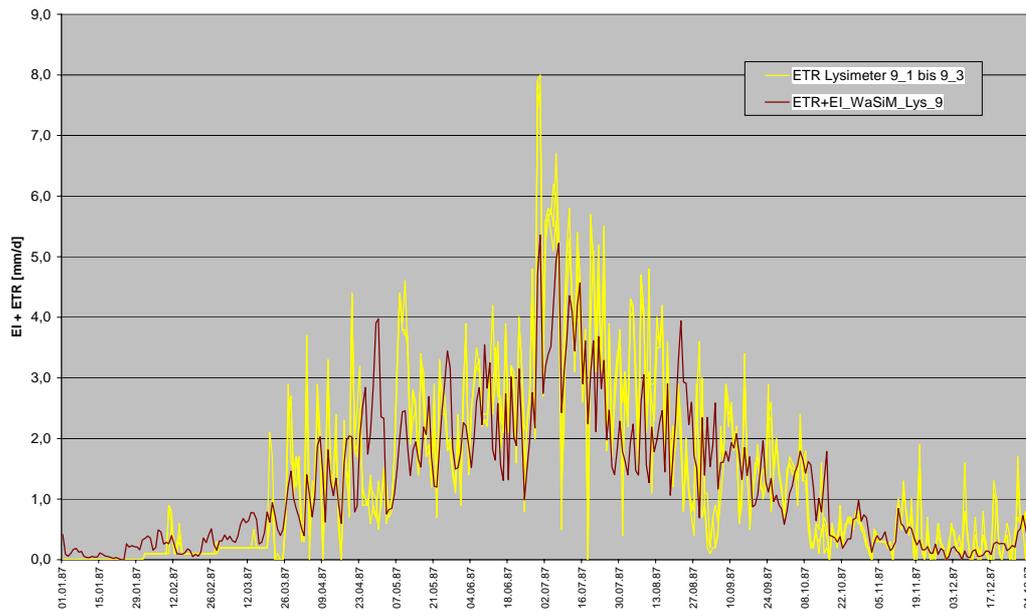


Abbildung 22: Gemessene und modellierte Verdunstung, Lysimeter 9, Kartoffeln 1987

An den beiden Grafiken (Abbildung 21, Abbildung 22) ist ersichtlich, wie stark der unterschiedliche Erntetermin der Kartoffeln auf die Simulationsergebnisse einwirkt (03./24.09.1985 und 18.08.1987), ist doch für die Flächennutzungsart "Kartoffeln" nur ein Parametersatz möglich, der auch nur einen Termin d_3 bzw. d_4 zulässt.

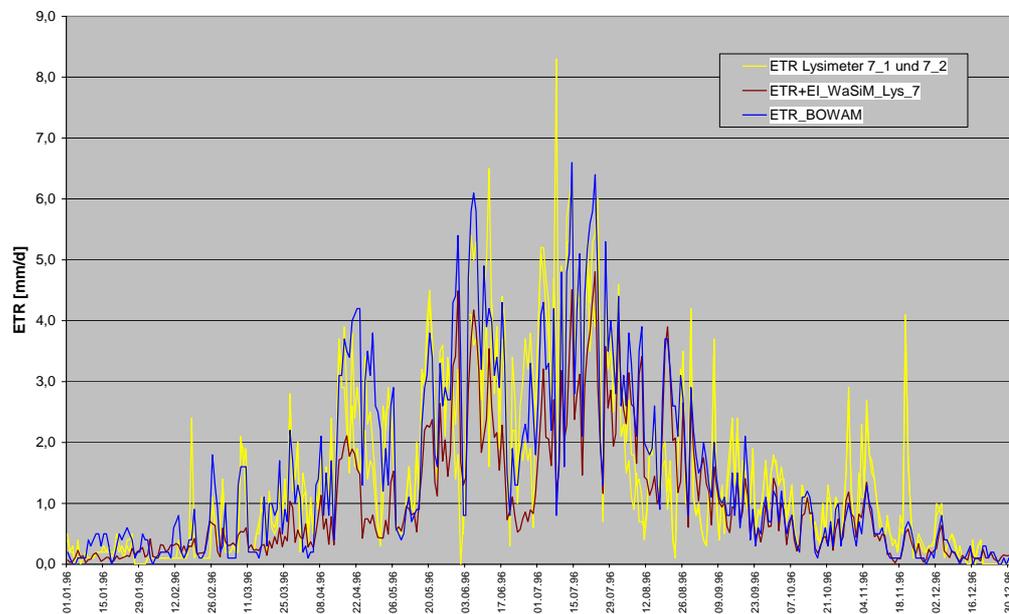


Abbildung 23: Gemessene und modellierte (WaSiM-ETH und BOWAM) Verdunstung, Lysimeter 7, Kartoffeln 1996

Durch die monatliche Bereitstellung der Nutzungsparameter reagiert das Programm BOWAM teilweise besser auf kurzfristige Änderungen in der Bewuchsstruktur (Abbildung 23).

7.1.6 Grünbrache

In den Jahren 1993 und 1994 bestand auf den Lysimetern Grünbrache. Beide Jahre stellten überdurchschnittlich feuchte Jahre dar. Im Schnitt aller Lysimeter betrug die Differenz zwischen Modellergebnis und Messung -6 % bzw. +3,8 %. Die Einzelergebnisse sind in den beiden folgenden Tabellen zusammengestellt. Als einziger "Ausreißer" stellt sich das Modellierungsergebnis 1994 am Lysimeter 10 dar. Ansonsten sind Modell- und Messergebnisse gut übereinstimmend.

Im Zeitraum zwischen Mitte Juni und Mitte August 1994 wird von WaSiM-ETH eine sehr hohe Verdunstung zwischen 4-9 mm/d simuliert, aber nur rd. 3 mm/d gemessen. Im Schnitt liegen die Messungen der anderen Lysimeter in diesem Zeitraum meist zwischen 3-6 mm/d.

Tabelle 21: Vergleich der Verdunstungshöhen für Grünbrache (Modell: ETR + EI) 1993

GrünBrache122: _T2 Jahr 1993	[mm]					[%]
	Modell	Lys_Messg_1	Lys_Messg_2	Lys_Messg_3	Lys_Messg_Mittel	Modell_zu_Messg
WaSiM-ETH_Lys_1	556,9	609,5	631,6	610,2	617	-9,8
WaSiM-ETH_Lys_4	512,0	593,9	594,6	576,3	588	-13,0
WaSiM-ETH_Lys_5	539,5	552,4	567,2	548,9	556	-3,0
WaSiM-ETH_Lys_7	544,6	589,1	580,6	632,1	601	-9,3
WaSiM-ETH_Lys_8	511,9	588,7	586,8	567	581	-11,9
WaSiM-ETH_Lys_9	611,3	591,6	593,3	585,4	590	3,6
WaSiM-ETH_Lys_10	616,7	594	609	579	594	3,8
WaSiM-ETH_Lys_11	542,9	601,2	579	599,1	593	-8,5
					Mittel	-6,0

Tabelle 22: Vergleich der Verdunstungshöhen für Grünbrache (Modell: ETR + EI) 1994

GrünBrache122: _T2 Jahr 1994	[mm]					[%]
	Modell	Lys_Messg_1	Lys_Messg_2	Lys_Messg_3	Lys_Messg_Mittel	Modell_zu_Messg
WaSiM-ETH_Lys_1	512,9	533,9	552,0	536,3	541	-5,1
WaSiM-ETH_Lys_4	503,8	513,2	501,7	520,6	512	-1,6
WaSiM-ETH_Lys_5	511,0		506,0	449,6	478	6,9
WaSiM-ETH_Lys_7	510,7	557,5	553,7		556	-8,1
WaSiM-ETH_Lys_8	503,8	504,9	514,1	511,3	510	-1,2
WaSiM-ETH_Lys_9	686,7	597,0	597,5	588,8	594	15,5
WaSiM-ETH_Lys_10	692,8	517,0		539,3	528	31,2
WaSiM-ETH_Lys_11	519,4	558,5	557,6	566,8	561	-7,4
					Mittel	3,8

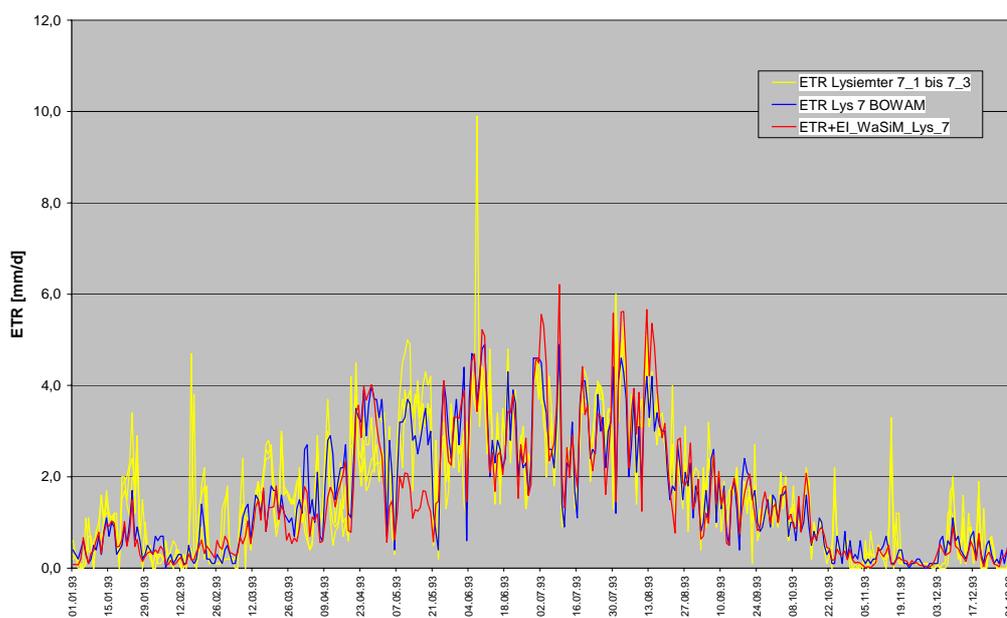


Abbildung 24: Gemessene und modellierte (WaSiM-ETH und BOWAM) Verdunstung, Lysimeter 7, Grünbrache 1993

In der Zeit zwischen Aufgang der Saat (28.04.1993) und dem ersten Schnitt (21.05.1993) ergeben sich größere Unterschiede zwischen Messung und Modellierung, was, wie oben schon festgestellt, deswegen vorkommt, weil in WaSiM-ETH diese Parameter nicht monatsweise eingegeben werden können.

7.1.7 Dauergrünland

Für Dauergrünland, das auf den Lysimetern nicht vorkam, sind die Parameter der Grünbrache übernommen worden. Der Vegetationsbedeckungsgrad ist gegenüber der Grünbrache in den Zeiten d_1 und d_4 deutlich erhöht und die effektive Vegetationshöhe insgesamt etwas verringert worden.

7.1.8 Sommergetreide

Sommergetreide wurde nur im Jahr 1997 angebaut (Sommerweizen). Die Parameteranpassung erwies sich als schwierig. Ohne die Parameter in der "landuse_table" sowie in der "soil_table" in unmögliche Werte zu verwandeln, ergab sich als bester Schnitt über alle Lysimeter das in Tabelle 23 gezeigte Ergebnis von -16,5 %.

Tabelle 23: Vergleich der Verdunstungshöhen für Sommergetreide (**Modell: ETR + EI**) 1997

SommerGetreide101: _T2_2 Jahr 1997	[mm]					[%] Modell_zu_Messg
	Modell	Lys_Messg_1	Lys_Messg_2	Lys_Messg_3	Lys_Messg_Mittel	
WaSiM-ETH_Lys_1	420,8	490,3	553,1	534,5	526	-20,0
WaSiM-ETH_Lys_4	391,8	517	524,9	516,9	520	-24,6
WaSiM-ETH_Lys_5	398,4		477,5	468,2	473	-15,7
WaSiM-ETH_Lys_7	417,0	543,7	545,2		544	-23,4
WaSiM-ETH_Lys_8	391,0	496,2	529,4	510,1	512	-23,6
WaSiM-ETH_Lys_9	639,9	671,6	672,7	649,3	665	-3,7
WaSiM-ETH_Lys_10	652,8	597,2		649,5	623	4,7
WaSiM-ETH_Lys_11	408,9	541	540,4	575,8	552	-26,0
					Mittel	-16,5

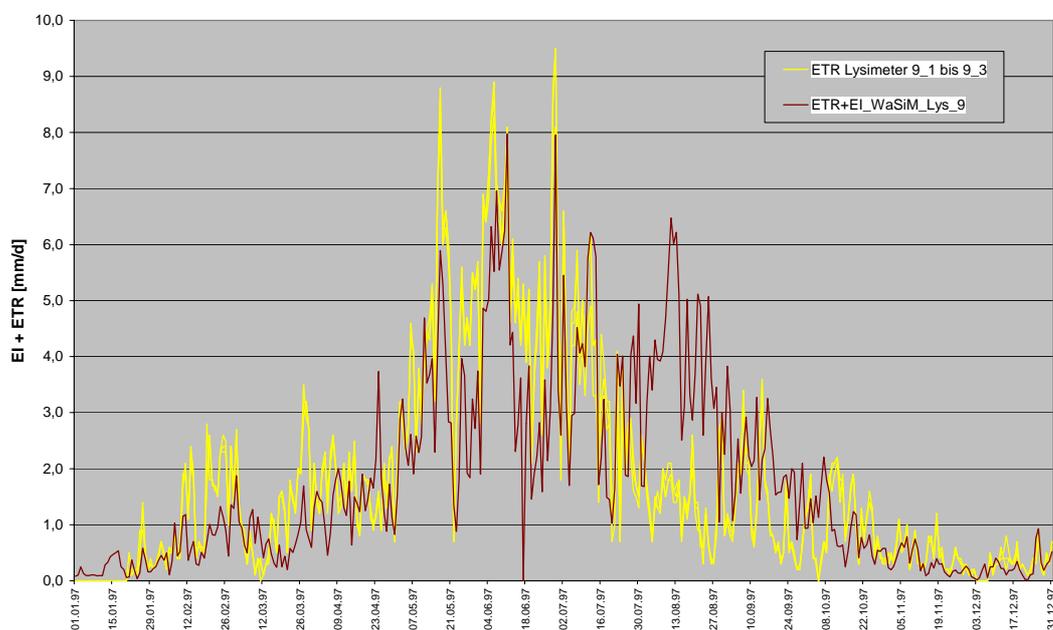


Abbildung 25: Gemessene und modellierte Verdunstung, Lysimeter 9, Sommergetreide 1997

Die größten Nichtübereinstimmungen ergaben sich für die Zeit zwischen der Gelbreife und der Ernte bzw. bis kurz danach (ca. 25.07.1997-29.08.1997) (Abbildung 25). Demzufolge ist der Zeitpunkt d_3 von der Ernte auf die Gelbreife vorzulegen.

Folgende Vorschläge sollten zu Verbesserungen in der Verdunstungsanpassung führen:

- Verringerung der Gridzellengröße von 125 m x 125 m auf Werte, die die kleinräumigen Unterschiede in den geologischen Bedingungen der einzelnen Lysimeterarten besser entsprechen (evtl. auf 20 m x 20 m der DGM-Ausgangswerte),
- Analyse von Einzeltagen bzw. kurzzeitigen Ereignissen mit deutlichen Nichtübereinstimmungen zwischen Messung und Modellergebnis, um eine "Fehlersuche" gezielter durchführen zu können,
- Einbeziehung der Bodenfeuchte in die Vergleiche, um auch Anzeichen für die Anpassung der Bodenparameter zu erhalten.

7.2 Anpassung der modellierten Abflüsse in den Teileinzugsgebieten (TE)

7.2.1 Allgemeines

Die Anwendung von TANALYS zur Vorbereitung der Daten für WaSiM-ETH ergab nur für die unten genannten oberirdischen TE der Parthe (Kapitel 3.4) auswertbare Ergebnisse. Für Naunhof und Großsteinberg konnten die Betrachtungen nicht durchgeführt werden, da die Kombination von flachem Gelände und relativ großer Gridzellen bei aller Variation der TANALYS-Parameter keine Ableitung der notwendigen Grids erlaubte: TE, Flussmündungen, Gerinne- und Routingstrecken, Fließzeiten usw.. Teilweise sind nicht zusammenhängende TE berechnet worden, für die keine übereinstimmenden Routingvorschriften ausgegeben werden konnten.

7.2.2 Großbardau (Schnellbach)

Das TE von 7,67 km² Größe befindet sich im Süden des oberirdischen Einzugsgebietes der Parthe. An seinem Auslass befindet sich der Pegel Großbardau. Das TE ist schwach gegliedert und weist Geländehöhen zwischen rd. 153 m HN im NNE und 178 m HN im SSW auf. Einen Eindruck der geringen Geländegliederung erlaubt Abbildung 26 (Maßstab ca. 1:80 000). Das rechte Teilbild zeigt das sog. Zonengrid mit den von TANALYS berechneten Gerinnen (**Legende für die Zonengrids** auch für die anderen TE: Farben repräsentieren Höhenstufen).

Da dieses TE am Beginn der Bearbeitung stand, sind dafür einige Vorbetrachtungen im TANALYS durchgeführt worden. Das betraf im Wesentlichen 7 Tests mit Variationen des Manning-Wertes und der sog. Spende. Beide Werte gehen in die Berechnungsformel der Flussbreiten und resp. der -tiefen des Gerinnes und seines Vorlandes ein. Diese wiederum haben eine spürbare Auswirkung auf die Entlastungsmöglichkeiten des Grundwassers in das Gerinne und eine wesentlich geringere Auswirkung auf die Fließgeschwindigkeiten im Gerinne.

Die Parametrisierung an Hand der Abflussdaten [m³/s] des Pegels Großbardau erfolgte für das Jahr 1986 (Abbildung 27).

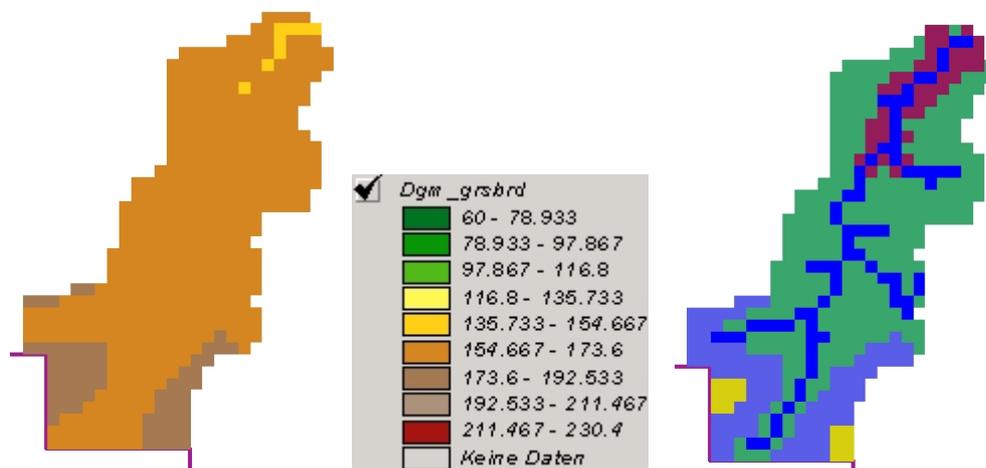


Abbildung 26: Geländemodell (links), Gesamtlegende zum DGM (Mitte), Zonengrid TE Großbardau: Unterteileinzugsgebiete, Routingstrecken (rechts)

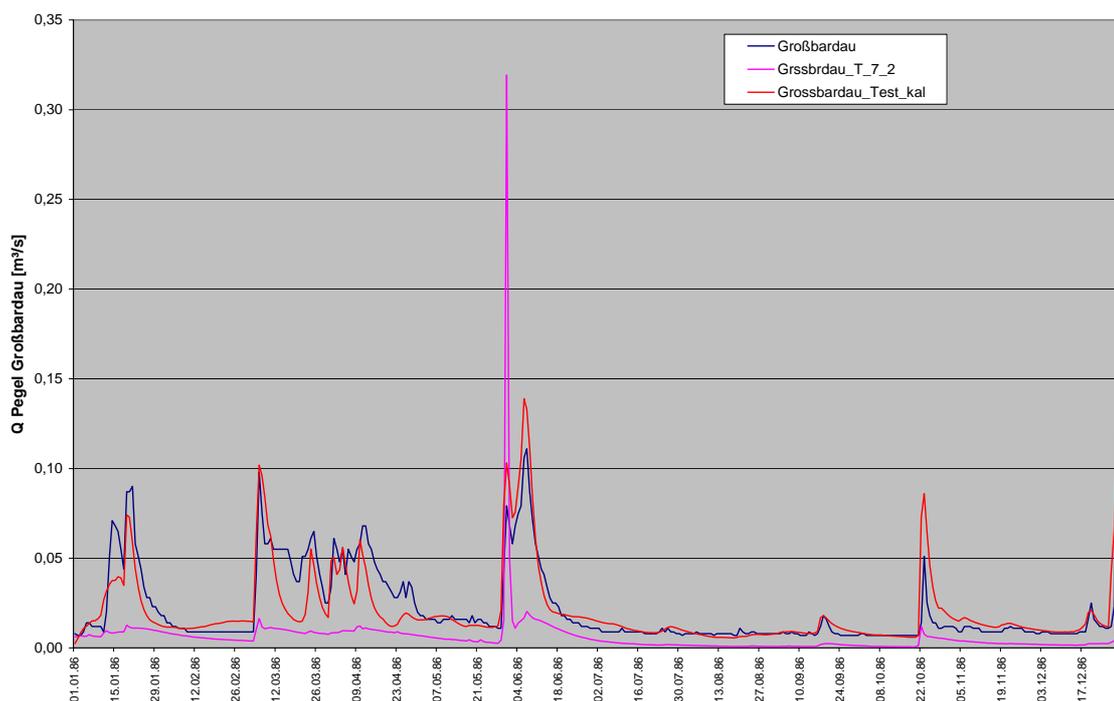


Abbildung 27: Anpassung der Abflüsse am Pegel Großbardau 1986

Die blaue Linie ist das Messergebnis am Pegel, die magentafarbene der Ausgangswert der Simulation und die rote Linie das Ergebnis der Anpassungen.

Im Ergebnis konnte eine befriedigende Anpassung der Simulationsergebnisse an die Abflussmessungen erfolgen. Die Abflussspitzen sind gut nachgebildet und der Trockenwetterabfluss weist langfristig das Niveau der Messungen auf. Im Wesentlichen sind Parameter der Infiltration und der Rückhalteparameter im [unsatzon_model], aber auch Parameter der geologischen Einheiten (hauptsächlich Talfüllungen kleiner Täler (2.1 – Codenummern in der [soil_table]), Geschiebelehmflächen (7.7), pleistozäne glazifluviatile Sande und Kiese (8.5), sandig-kiesige quartäre Sedimente (9.10 und 9.21) und glazilimnische Schluffe und Feinsande (10.1)) wie kf-Wert, Wassersättigung und die kf-Wert-Veränderung mit der Teufe anzupassen gewesen.

Gütemerkmale sind die Kurvenübereinstimmungen (R^2 -Wert) und die jahresdurchschnittliche Abflusssumme in $[m^3/s]$.

Im Durchschnitt des Jahres 1986 sind $0,0219 m^3/s$ Abfluss gemessen und $0,0212 m^3/s$ Abfluss simuliert worden. Der größte R^2 -Wert beträgt 0,62. Im Zeitverhalten ist die Simulation gegenüber der Messung der Abflussspitzen meist einen Tag zu zeitig (Abbildung 28).

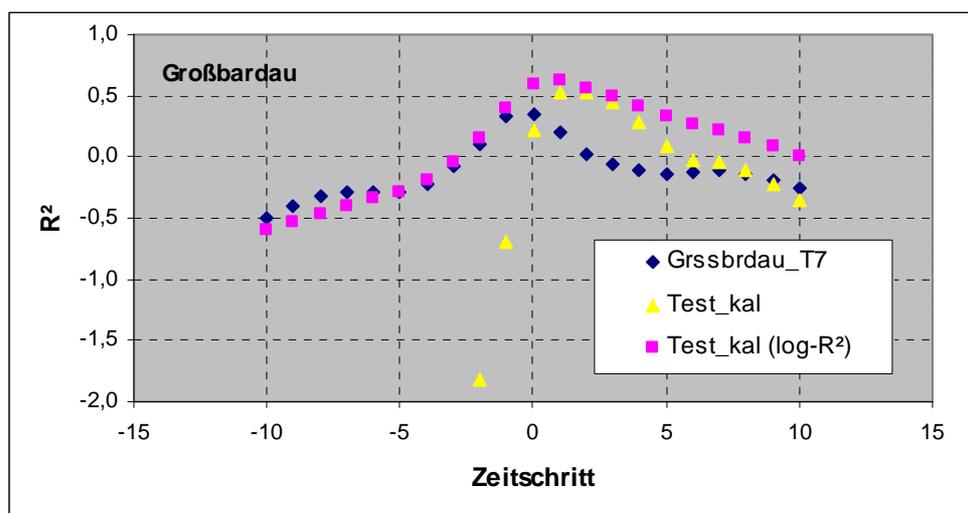


Abbildung 28: R^2 -Werte von drei Simulationsergebnissen Großbardau

Die Betrachtung der Abflussanteile ergibt einen zu vernachlässigenden Anteil des Basisabflusses von 0,1% (41 %) bei rd. 61,8 % Interflow (38 %) und 38,1 % Oberflächendirektabfluss (21 %) – Werte in Klammern: Ergebnisse der Ganglinienseparation (frdl. Mitteilung Lysimeterstation Brandis; UBG, FB 31). An dieser Stelle werden die weiteren Kalibrierungsnotwendigkeiten angedeutet, da in solch flachem Gelände Interflow und Landoberflächenabfluss in der Realität nicht über dem Basisabfluss überwiegen werden.

Eine Erhöhung der Infiltration bewirkt einen geringeren Oberflächendirektabfluss. Das kann nur über die Bodenparameter geschehen, da sie aber für eine geologische Einheit immer für das gesamte UG gelten, wären dann Untereinheiten abzuleiten, die dann für bestimmte Teilflächen gelten müssten – Teilflächen gleicher Hangneigungen, gleicher Flächennutzung, gleicher Höhenlagen, gleicher Exposition usw.. Demzufolge würden dann aus den 166 geologischen Einheiten 700-800 Einheiten oder mehr entstehen. Diese sind nicht mehr handhabbar. Wenn dieser Weg für die weiteren Kalibrierungsarbeiten gewählt werden soll, dann ist dringend von einer Verringerung der Anzahl unterschiedlicher geologischer Einheiten auszugehen.

Die Vergrößerung des Basisabflusses kann, wenn das WaSiM-ETH-eigene GW-M angeschaltet bleiben soll, über eine diffizile Änderung der Teufenlagen der Gewässersohlen erreicht werden. Hier ist weiter Untersuchungsbedarf ersichtlich; auch deswegen, da die gekoppelten Modelle WaSiM-ETH und PCGEOFIM noch zu lange Rechenzeiten benötigen und deshalb Kalibrierungsläufe nicht zeitnah erfolgen können.

7.2.3 Glasten (Parthe)

Das kleine TE Glasten (3,72 km²) stellt das Südende des oberirdischen Einzugsgebietes der Parthe dar. Es ist hier das am höchsten gelegene Gebiet (Abbildung 30). Geologisch unterscheidet es sich deutlich von den anderen, da überwiegend rhyolithische Festgesteine unter geringmächtiger periglaziärer Bedeckung anstehen.

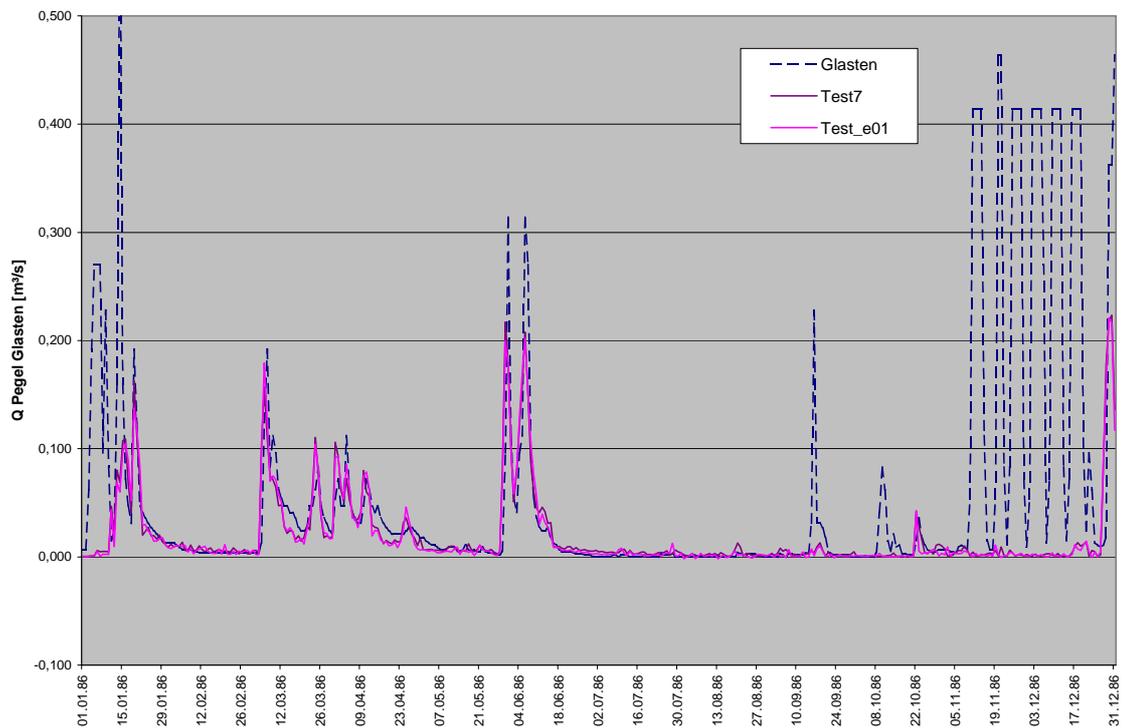


Abbildung 29: Anpassung der Abflüsse am Pegel Glasten 1986

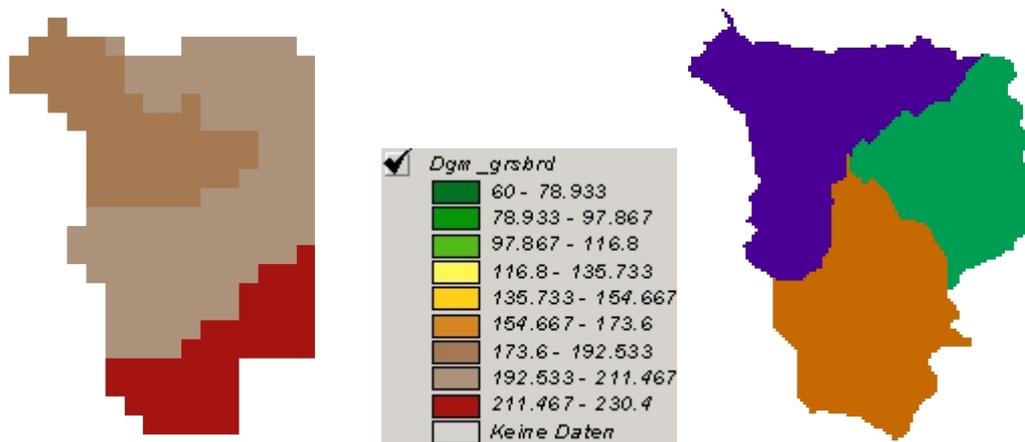


Abbildung 30: Geländemodell (links), Gesamtlegende zum DGM (Mitte), Einzugsgebietsgrid TE Glasten ca. 1:50 000: Unterteileinzugsgebiete (rechts)

Aus der Abbildung 29 ist das Anpassungsergebnis für die Abflüsse im Vorfluter am Pegel Glasten für das Jahr 1986 dargestellt. Gleichzeitig wird eine Besonderheit der Datenbasis ersichtlich, indem zum Jahresende über 6 Wochen immer wieder tagelang gleich hohe Abflüsse von reichlich $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ aufgeführt werden. Aus diesem Grunde sind keine R^2 -Werte sinnvoll zu berechnen.

Ausgehend von den hier durchgeführten Kalibrierungen, die sich im Bereich der [soil_table] auf die geringmächtige Festgesteinsüberdeckung richteten, sind dann für alle geologischen Einheiten, die eine periglaziäre Bedeckung "über Fels" bzw. eine geringmächtige glazifluviale bzw. quartäre Bedeckung "über Fels" aufweisen, die

angepassten Parameter übernommen worden. Das betraf die Einheiten 5.1 und 5.3, 7.4-7.6, 8.4 und 8.6, 9.6-9.10, 9.13-9.16, 9.20, 9.21, 13.1, 16.2 und 18.

Die unterschiedlichen Abflussarten schwanken in relativ engen Grenzen, auch wenn unterschiedliche Parametrisierungen berücksichtigt werden: der Basisabfluss schwankt zwischen 2,4-4 % (16,9 % in der Ganglinienseparation) des Gesamtabflusses, der Interflow zwischen 83-92 % (48 %) und der Direktabfluss zwischen 5-14 % (35 %).

Im Schnitt der Jahre 1980 bis 2003 belaufen sich die Monatsmittel der Abflussanteile auf die in Tabelle 24 gezeigten Werte.

Tabelle 24: Abflussanteile Pegel Parthe, Monatsmittel, Simulationsergebnisse

1980-20003			
Monate	Mittel_QBas_%	Mittel_QIFI_%	Mittel_QDir_%
1	6,63	77,80	15,57
2	6,71	77,90	15,39
3	5,02	79,54	15,44
4	4,35	85,69	9,96
5	2,27	90,18	7,55
6	1,38	89,82	8,80
7	1,57	86,37	12,06
8	1,06	89,99	8,95
9	2,80	86,97	10,23
10	3,91	88,75	7,34
11	4,89	76,92	18,19
12	7,92	70,41	21,67

Die größeren Anteile des Basisabflusses betreffen die Wintermonate, die geringeren den Sommer.

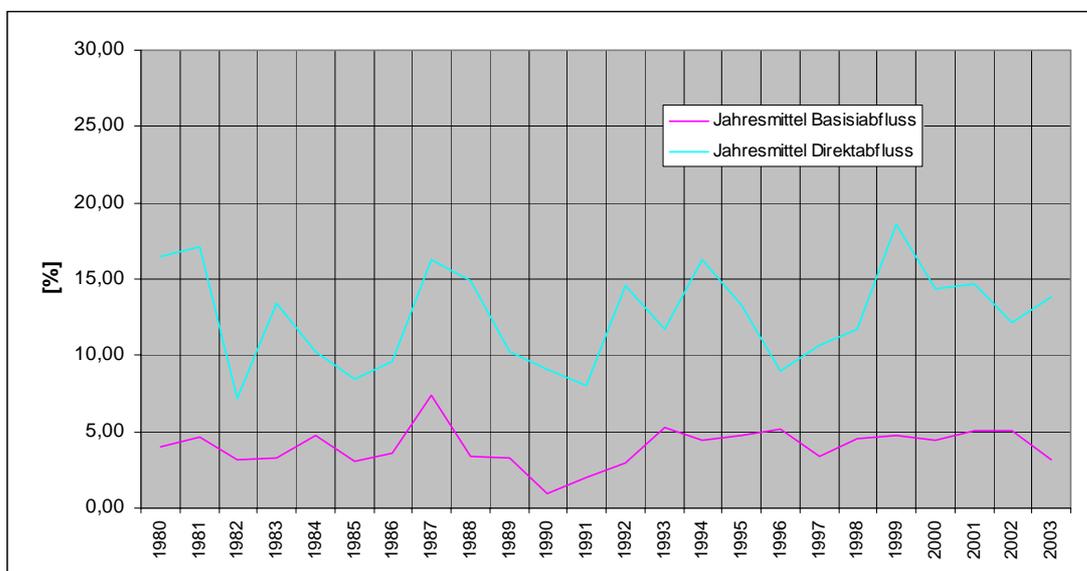


Abbildung 31: Anteile der Abflussarten Pegel Glasten 1980-2003, Simulationsergebnisse

Die Abflussverhältnisse am Pegel Glasten im Laufe der Jahre 1980-2003 zeigt Abbildung 31. Der Interflow als größter Anteil ist in der Abbildung ausgeblendet. Beide Abflussanteile zeigen eine deutliche Abhängigkeit von den Niederschlagssummen.

7.2.4 Pomßen (Parthe)

Das TE Pomßen weist eine Fläche von 44,52 km² auf. Am Gebietsauslass befindet sich der Pegel Pomßen. Von Südwesten her entwässert der Schnellbach in dieses Gebiet, von Süden her das TE Glasten. Das TE Pomßen hat die größte Höhendifferenz von allen anderen Gebieten (Abbildung 32).

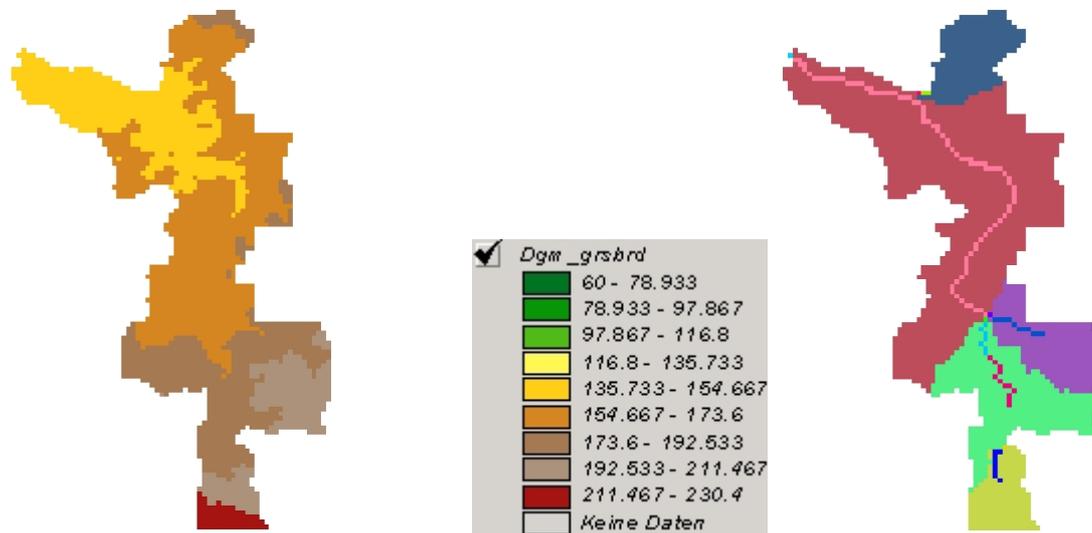


Abbildung 32: Geländemodell (links), Gesamtlegende zum DGM (Mitte), Einzugsgebietsgrid TE Pomßen ca. 1:200 000: Unterteileinzugsgebiete, Routingstrecken (rechts)

Die von TANALYS durchgeführte Unterteilung des TE Pomßen in Unterteileinzugsgebiete sowie die Routingstrecken sind im rechten Teil der Abbildung 32 ersichtlich.

Reichlich 90 % der Fläche werden von nur wenigen geologischen Einheiten eingenommen: den Talfüllungen der kleinen Täler bzw. des Parthemittellaufes (2.1, 3.1), Flächen mit Löss- und Gehängelehmverbreitung (5.1-5.3), Flächen mit Geschiebelehmverbreitung (7.1-7.4), Flächen mit pleistozänen Sanden und Kiesen (8.4-8.6) und Flächen mit sandig-kiesigen Quartärsedimenten (9.7, 9.8). Auf der Mehrzahl der Flächen folgt unter der meist geringmächtigen Bedeckung anstehendes Festgestein.

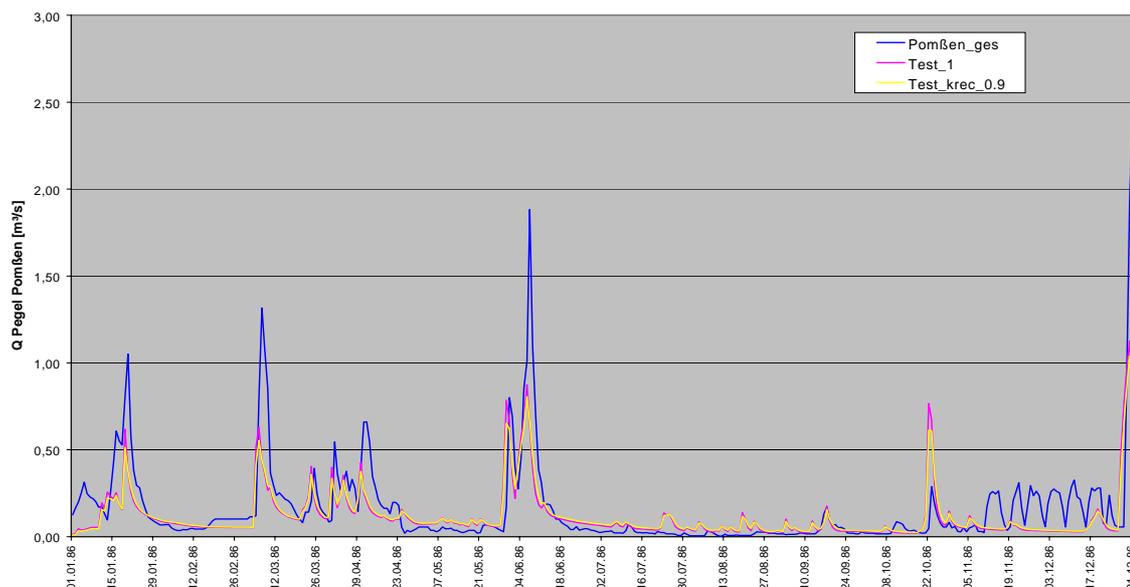


Abbildung 33: Anpassung der Abflüsse am Pegel Pomßen 1986

Im Vergleich zu allen anderen TE ließen sich die Abflussmengen für Pomßen am schlechtesten anpassen (Abbildung 33, Abbildung 34), obwohl gleichartige Methoden angewandt wurden.

Es fällt aber auf, dass, im Gegensatz zu allen anderen Fällen, der Trockenwetterabfluss im Schnitt **zu hoch simuliert** wurde (auch bei Addition von Pegel S 1 und Pegel S 2 = Pomßen_ges). Wenn man von den Abflusswerten am Pegel Pomßen ($A = 44,52 \text{ km}^2$) die Messwerte der Pegel Glasten ($A = 3,72 \text{ km}^2$) und Großbardau ($A = 7,67 \text{ km}^2$) abzieht, dann beobachtet man mehrere Tage bis zu 2 Wochen hintereinander $Q < 0 \text{ m}^3/\text{s}$. Das heißt, in dieser Zeit würden die Zuflüsse aus den beiden deutlich kleineren Oberliegern nicht einmal den Pegel Pomßen erreichen. Unter Umständen sind aber auch die Messwerte vom Pegel Pomßen zu überprüfen, wenn man das ungewöhnliche Simulationsergebnis berücksichtigt.

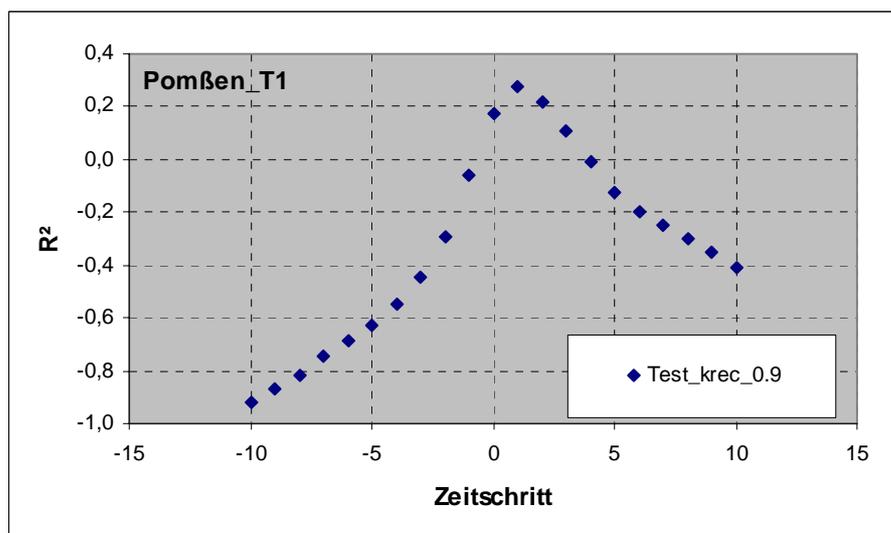


Abbildung 34: R^2 -Werte der Simulationsergebnisse Pomßen

Im Schnitt des Jahres 1986 betragen die simulierten Abflussanteile: Basisabfluss 24,5 %, Interflow 68,3 % und Landoberflächenabfluss 7,2 %

7.2.5 Thekla (Parthe)

Das TE Thekla ist das größte TE und weist eine Fläche von $220,5 \text{ km}^2$ auf. Demzufolge sind hier auch die geologische Vielfalt und die Vielfalt der unterschiedlichen Flächennutzungen größer als in den anderen TE.

Es weist die zweitstärkste Höhengliederung auf (Abbildung 35). Die von TANALYS durchgeführte Unterteilung des TE Thekla in Unterteileinzugsgebiete sowie die Routingstrecken sind im rechten Teil der Abbildung 35 dargestellt.

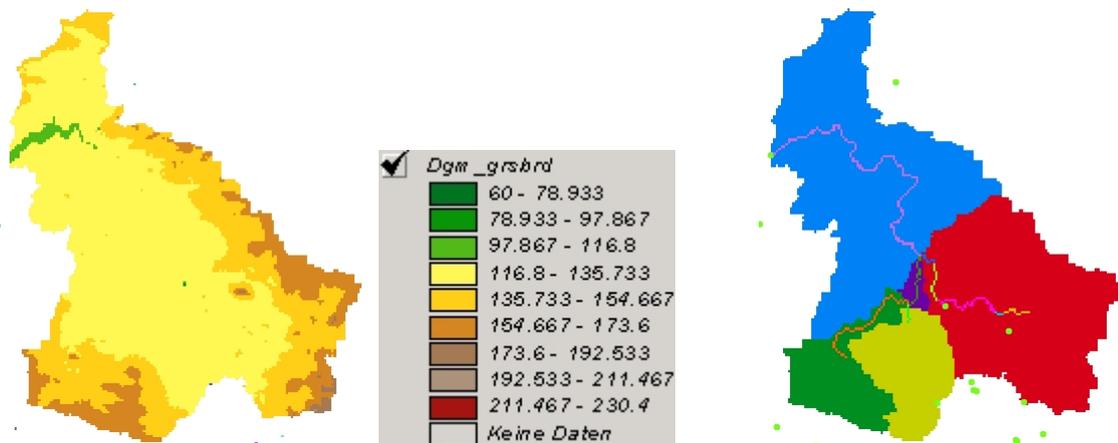


Abbildung 35: Geländemodell (links), Gesamtlegende zum DGM (Mitte,) Einzugsgebietsgrid TE Thekla ca. 1:400 000: Unterteileinzugsgebiete, Routingstrecken (rechts)

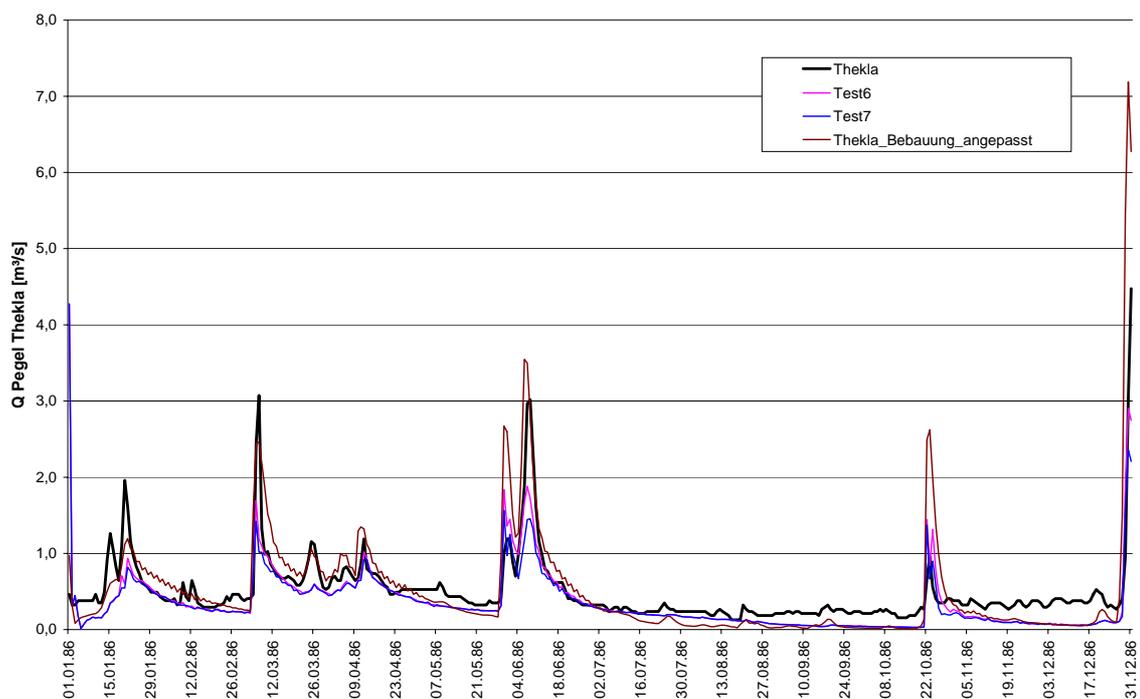


Abbildung 36: Anpassung der Abflüsse im TE Thekla, Pegel Thekla 1986

Das Anpassungsergebnis (mit den drei endgültigen Testergebnissen) zeigt die Abbildung 36. Es ist wie in fast allen TE zu erkennen, dass der Trockenwetterabfluss meist nicht so gut simuliert wird. Die Abflussspitzen hingegen zeigen bessere Übereinstimmungen zwischen Messung und Simulationsergebnis.

An der Form der für den 07.03.1986 simulierten Abflussspitze (Messung: 3,07, Simulation: 2,46 m^3/s) und dem langsamen Rückgang der Abflüsse im Gerinne wird ein grundsätzliches Problem der Kalibrierung anschaulich dargestellt. Während die Höhe der Abflussspitze und das Zeitverhalten gut mit der Messung übereinstimmen, geht der simulierte Abfluss langsamer zurück als gemessen. Zielt die Parameteränderung auf den schnelleren Rückgang des Abflusses nach den Spitzen, dann ist sofort eine deutliche Verringerung des Basisabflusses bemerkbar, die sich wiederum auf eine deutliche Verringerung des Abflusses im Gerinne auswirkt.

Die simulierten Abflussanteile am Pegel Thekla zeigt Tabelle 25. Zum Vergleich sind die Ergebnisse der Ganglinienseparation (Messreihen 1941-1998) angefügt.

Tabelle 25: Abflussanteile Pegel Thekla

		[%]		
		Q_Basis	Q_Interflow	Q_Direkt
1980-2003	Min.	0,0	0,2	0,0
	Max.	91,8	98,2	99,8
	Mittel	18,4	56,9	24,7
1986	Min	0,2	4,0	0,0
	Max.	95,0	98,0	95,8
	Mittel	17,8	65,2	17,0
Ganglinienseparation 1941-1998		38,0	26,5	19,3

Die Simulationsergebnisse zeigen im Verhältnis zu den anderen TE eine richtige Tendenz, indem hier im kiesig-sandigen "Flachland" deutlich mehr Basisabfluss und deutlich weniger Interflow als in den anderen TE modelliert wird. Trotzdem entsprechen die simulierten Werte nur zum Teil den Ergebnissen der Ganglinienseparationen.

Auch hat hier der Anteil des Basisabflusses im Sommer mehr Gewicht als im Winter (Abbildung 37).

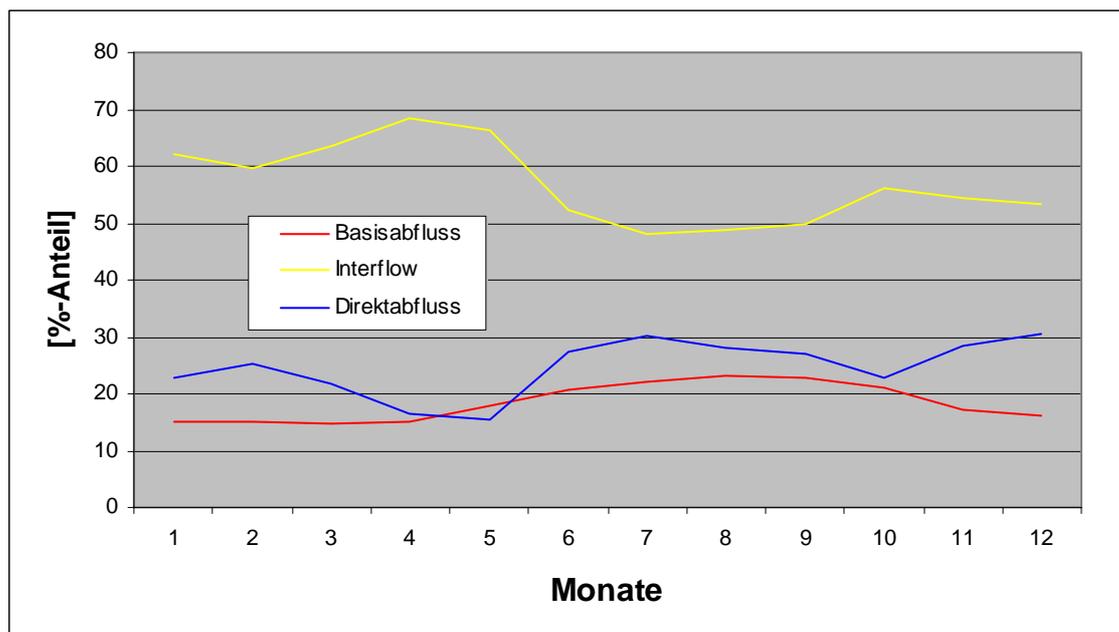


Abbildung 37: Anteile der Abflussarten Pegel Thekla, langjährige Monatsmittel 1980-2003, Simulationsergebnisse

Die Verteilung der Abflussarten im Laufe der Jahre 1980-2003 zeigt die Abbildung 38.

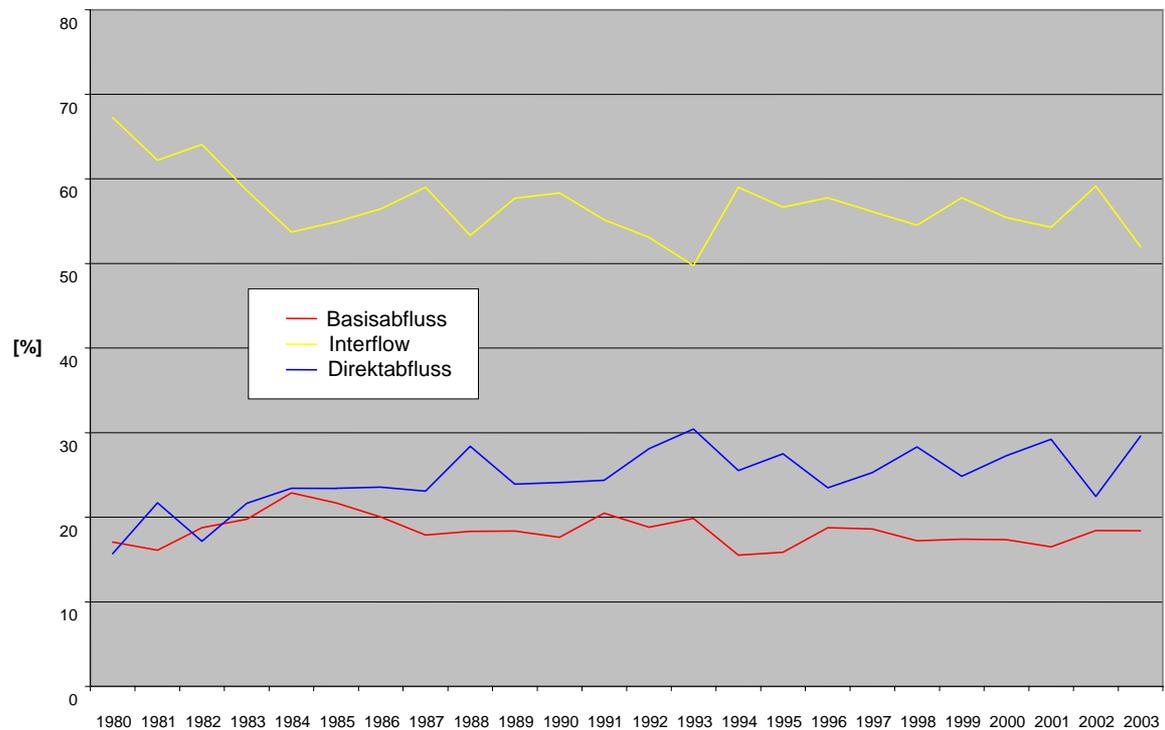


Abbildung 38: Anteile der Abflussarten Pegel Thekla in den Jahren 1980-2003, Simulationsergebnisse

7.3 Gesamtfläche - Abflüsse an den Pegeln

Nach der durchgeführten Kalibrierung in den einzelnen TE erfolgte ein weiterer Modelllauf über die gesamte Fläche des unterirdischen Einzugsgebietes (ohne Kopplung mit dem Grundwassermodell). Einzelergebnisse sind in den folgenden Abbildungen zusammengestellt.

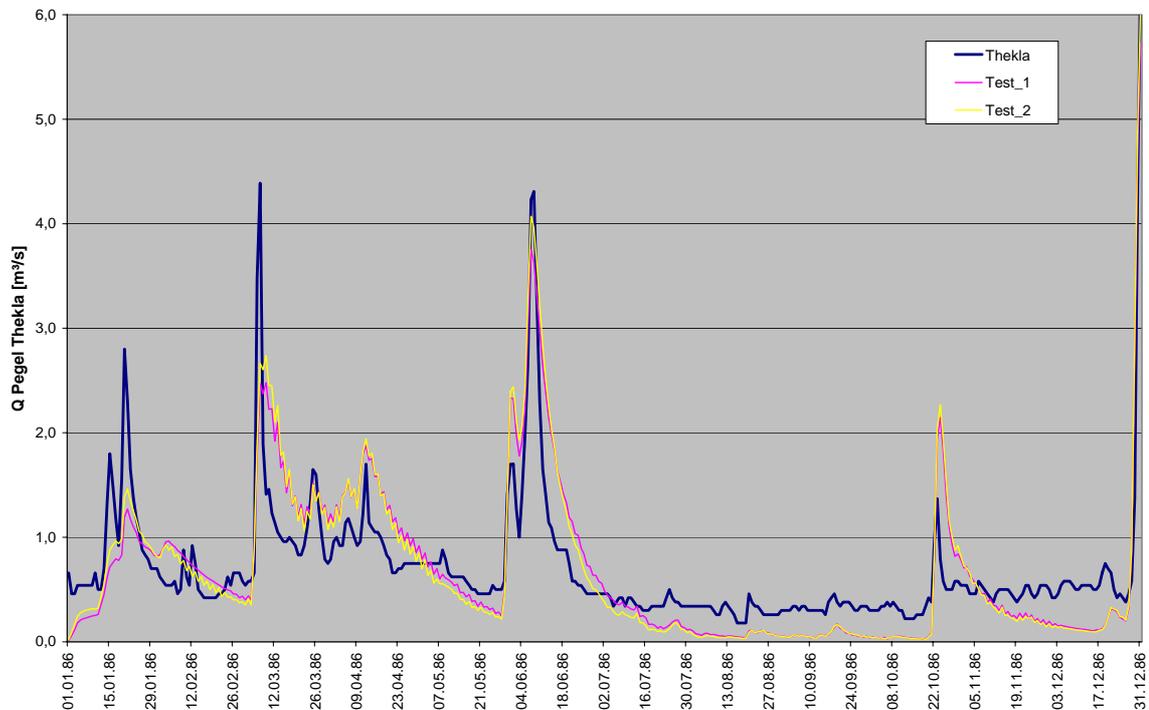


Abbildung 39: Abflüsse am Pegel Thekla 1986

Die R^2 -Werte für das Simulationsjahr 1986 schwanken zwischen 0,42 (Pegel Pomßen, Kapitel 3.4) und 0,66 (Pegel Thekla). Lediglich für den Pegel Glasten ergaben sich nur Werte von -0,06. Die Abflussspitzen werden für den Pegel Thekla im Schnitt zur gemessenen Zeit berechnet. An den anderen Pegeln sind sie im Schnitt in der Simulation \leq einen Tag zu zeitig (Abbildung 41).

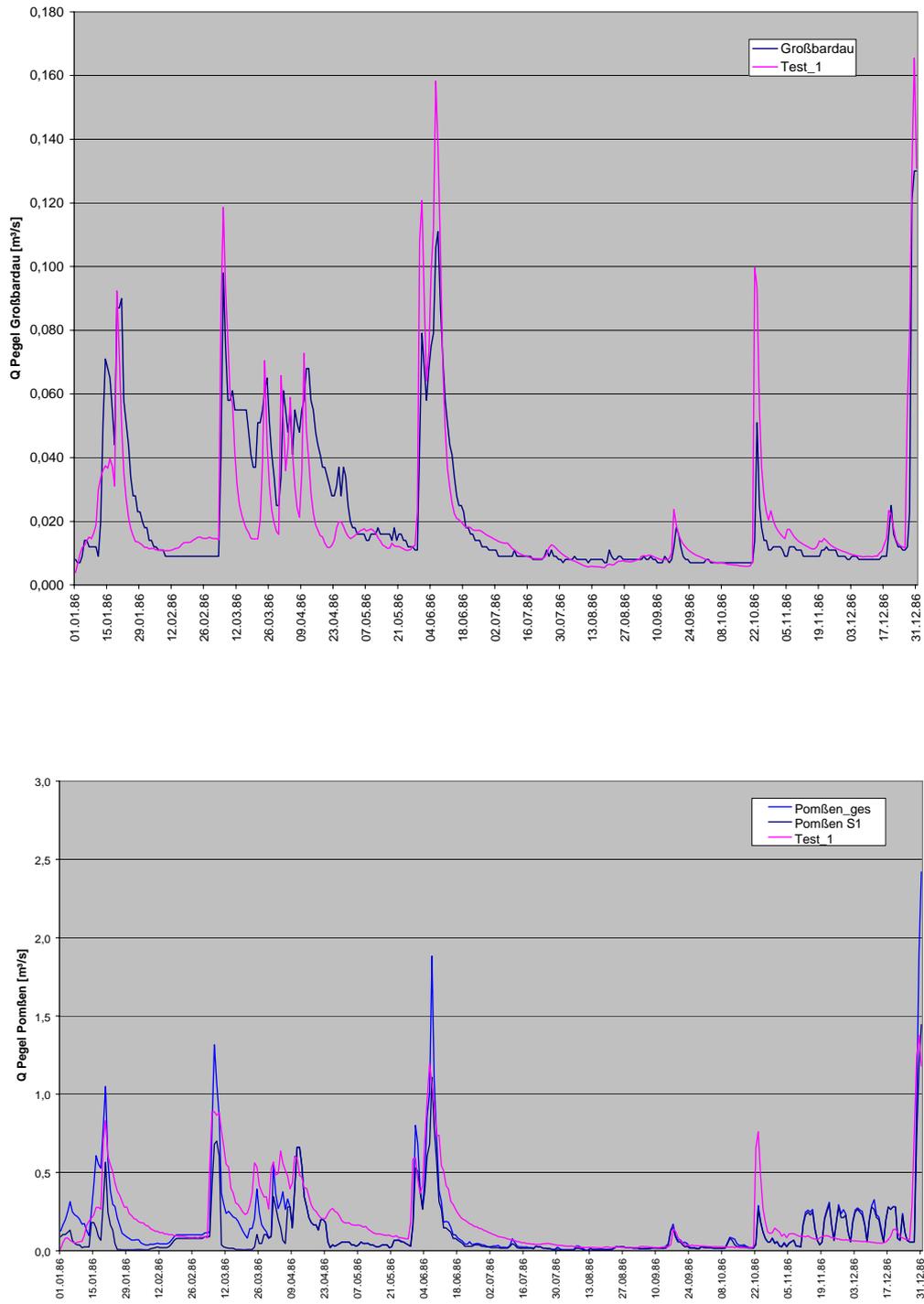


Abbildung 40: Abflüsse an den Pegeln Großbardau und Pomßen 1986

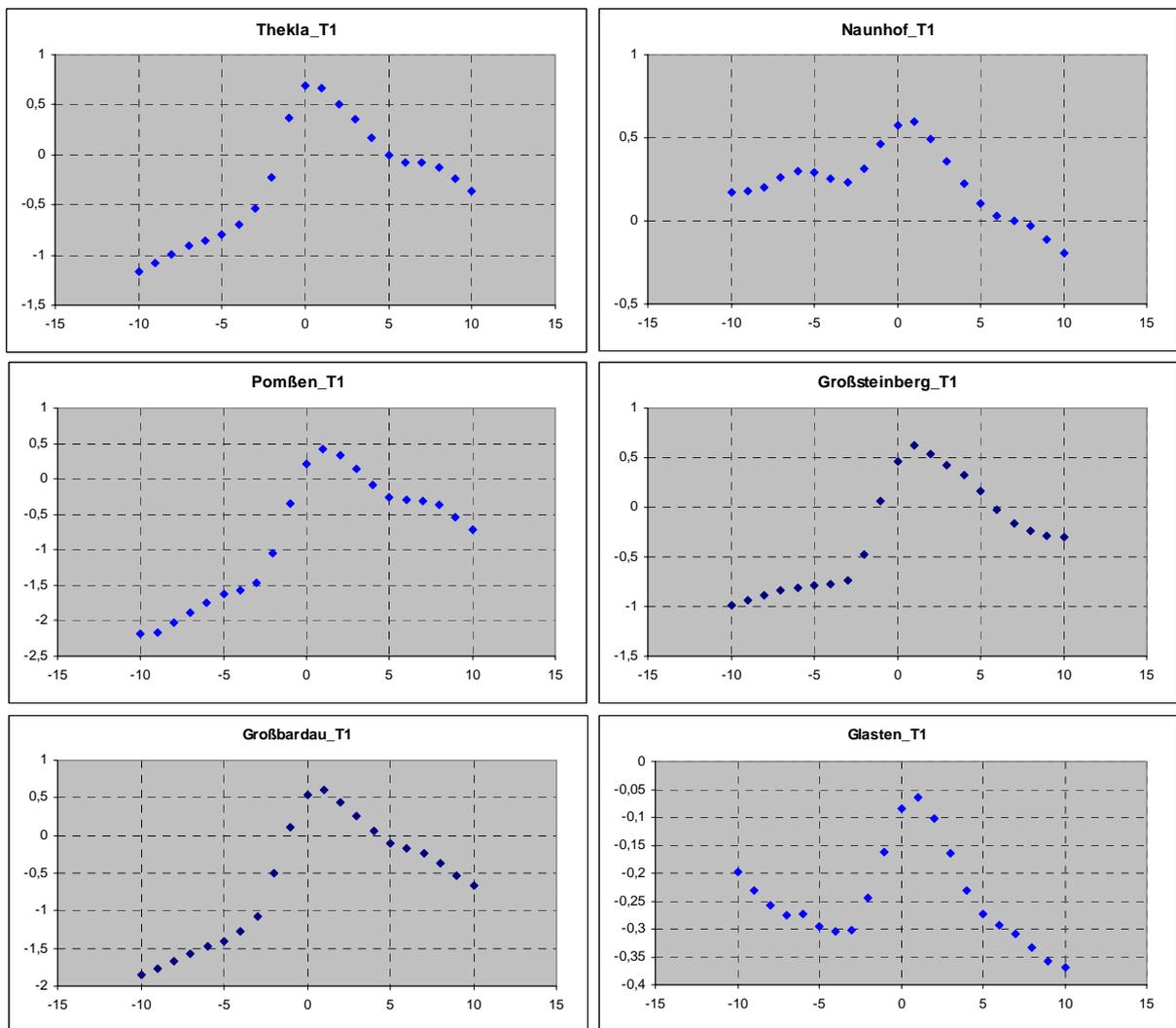


Abbildung 41: Anpassungsgüte R^2 Gesamtgebiet (Abszisse: Zeitschritte, Ordinate: R^2 -Werte)

Die am Pegel Thekla im Zeitraum 1980-1997 gemessenen und für diesen Pegel mit WaSiM-ETH simulierten Abflüsse sind in der Abbildung 42 als Jahresdurchschnittswerte dargestellt (Ergebnisse mit gekoppeltem GW-M).

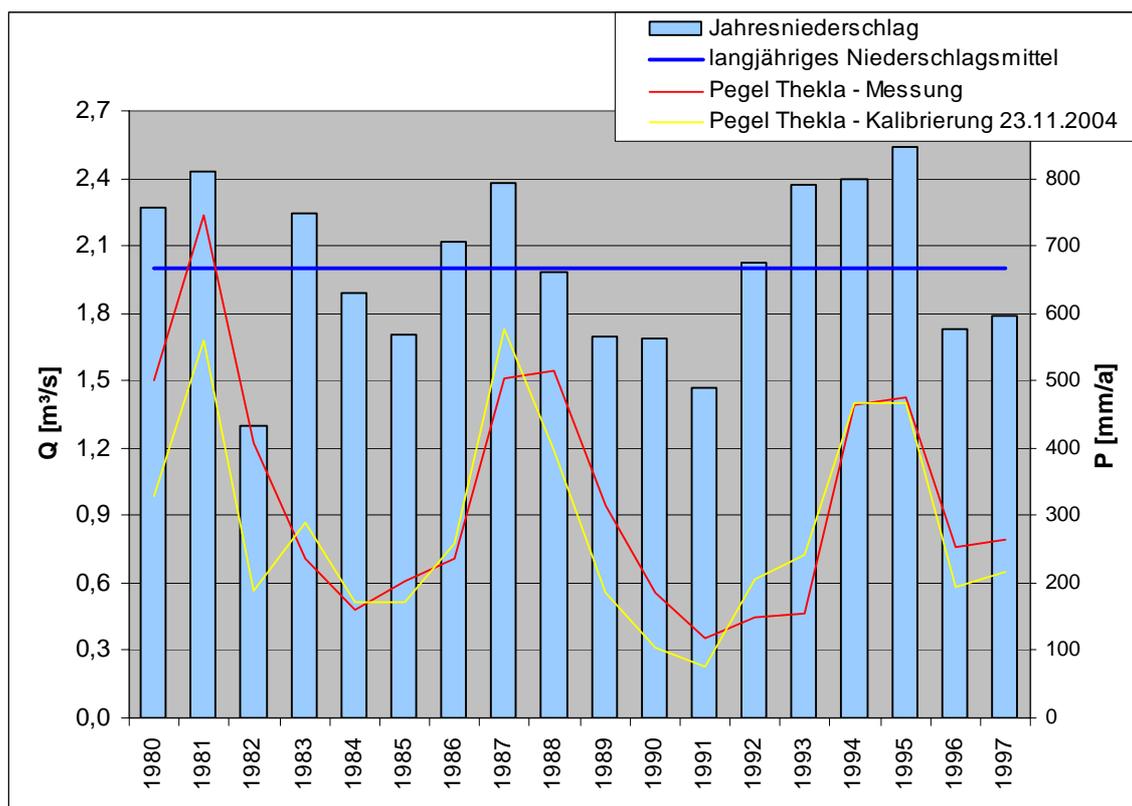


Abbildung 42: Niederschläge (Gesamtgebiet) und Abflüsse Pegel Thekla 1980-1997

Tabelle 26: Jahresmittelwerte Abflüsse Pegel Thekla (Messung und Simulation)

Abflüsse_Thekla Jahr	[m³/s]		[%]
	Messung	Kal_23.11.20041	Abweichung
1980	1,500	0,984	-34,4
1981	2,238	1,682	-24,8
1982	1,224	0,567	-53,7
1983	0,706	0,865	22,5
1984	0,480	0,514	7,0
1985	0,610	0,511	-16,2
1986	0,707	0,774	9,5
1987	1,510	1,729	14,5
1988	1,541	1,187	-22,9
1989	0,946	0,559	-40,9
1990	0,560	0,316	-43,6
1991	0,357	0,232	-35,2
1992	0,448	0,614	37,2
1993	0,462	0,727	57,2
1994	1,392	1,397	0,3
1995	1,430	1,403	-1,9
1996	0,762	0,582	-23,6
1997	0,795	0,653	-17,9
Mittelwert	0,982	0,850	-9,3

Im Schnitt der Jahre 1980-1997 werden rd. 9 % zu weniger Abflüsse simuliert (Tabelle 26). Die größten Differenzen zwischen Messung und Simulation ergeben sich im Jahresdurchschnitt immer in Jahren mit sehr hohen Niederschlägen bzw. in das unmittelbar darauffolgende Jahr bzw. in den darauffolgenden Jahren. Die geringsten Abweichungen bzw. sogar Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation finden sich in den Jahren mit ansteigenden Niederschlagssummen nach sehr trockenen Jahren.

Für 1986 ergaben sich für die betrachteten Pegel folgende Abflüsse (Tabelle 27):

Tabelle 27: Abflüsse an den Pegeln 1986

		Thekla	Naunhof	Pomßen	Großsteinberg	Großbardau	Glasten
Messung	[m ³ /s]	0,707	0,217	0,106	0,064	0,022	0,057
Simulation	[m ³ /s]	0,682	0,228	0,191	0,043	0,021	0,038

Mögliche Ursachen für die zu gering simulierten Basisabflüsse und die möglichen Lösungsansätze sind im Kapitel 7.2.2 diskutiert.

8 Berechnungen 1980-2003 und Prognose 2004-2050

8.1 Klimatische Wasserbilanz

WaSiM-ETH berechnet die auf die jeweilige Flächennutzung angepasste potenzielle Evapotranspiration (ETP), so dass aus der Differenz aus korrigierter Niederschlagshöhe und ETP die klimatische Wasserbilanz (KWB_{FN}) abgeleitet wird (im Weiteren als KWB bezeichnet). Die nachfolgenden Ergebnisse basieren auf den mittleren Werten für das gesamte UG bzw. sind wie im Falle der Gridergebnisse flächenkonkret.

Den Verlauf der mittleren jährlichen klimatischen Wasserbilanz für das gesamte UG zeigt die Abbildung 43. In den ersten beiden Dekaden (bis 2000) werden 13 Jahre mit positiver KWB beobachtet.

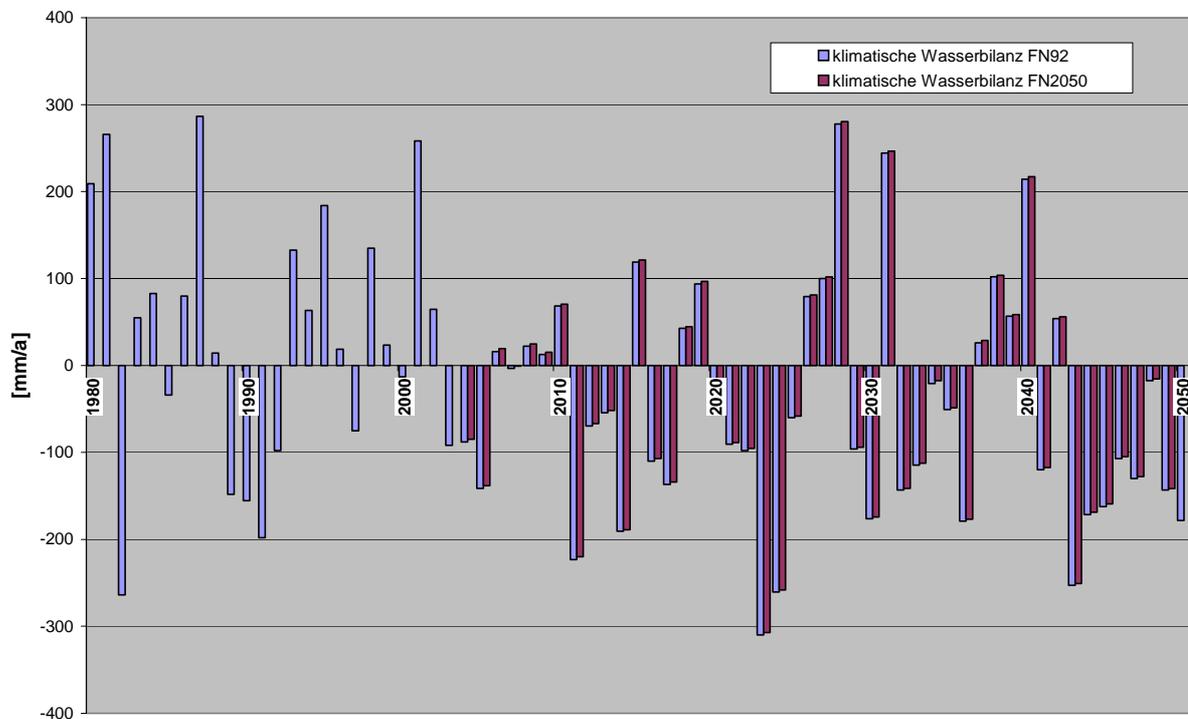


Abbildung 43: Mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz, Mittelwert über UG

Dagegen wird in den letzten beiden Dekaden (2030-2050) lediglich für 6 Jahre eine positive KWB prognostiziert. Die letzte Dekade 2040-2050 schließt mit 8 aufeinander folgenden Jahren mit negativer KWB ab. Das Flächennutzungsszenario für 2050 ist mit *FN2050* bezeichnet.

Die Abbildung 44 belegt die Höhen der mittleren monatlichen KWB, aufgeschlüsselt auf die Zeiträume 1980-2003 (P , KWB , T_{2003}) und 2004-2050 (P , KWB , T_{2050}).

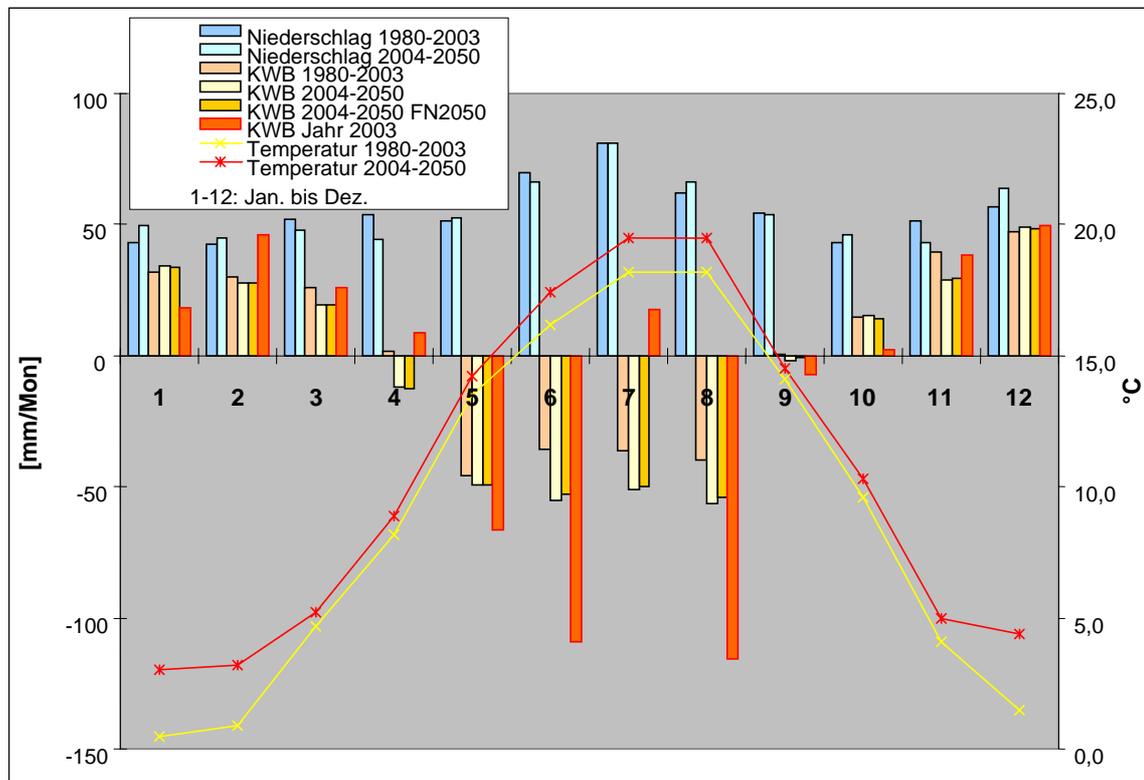


Abbildung 44: Monatsmittel von KWB; Niederschlag und Lufttemperatur Zeiträume 1980-2003 und 2004-2050

Die deutlich höheren Niederschläge in den Monaten Dezember bis Februar im Prognosezeitraum führen zu einer etwas höheren KWB in diesen Monaten, da hier die mittleren Lufttemperaturen wesentlich höher prognostiziert werden als sie zwischen 1980-2003 gemessen worden sind.

Die auch jetzt schon charakteristischen deutlich negativen KWB in den Monaten Mai bis August werden sich im Prognosezeitraum noch deutlich verstärken.

Die Aufschlüsselung der Monatswerte der KWB auf die unterschiedlichen Jahre ist beispielhaft in den folgenden Bildern der Abbildung 45 gezeigt.

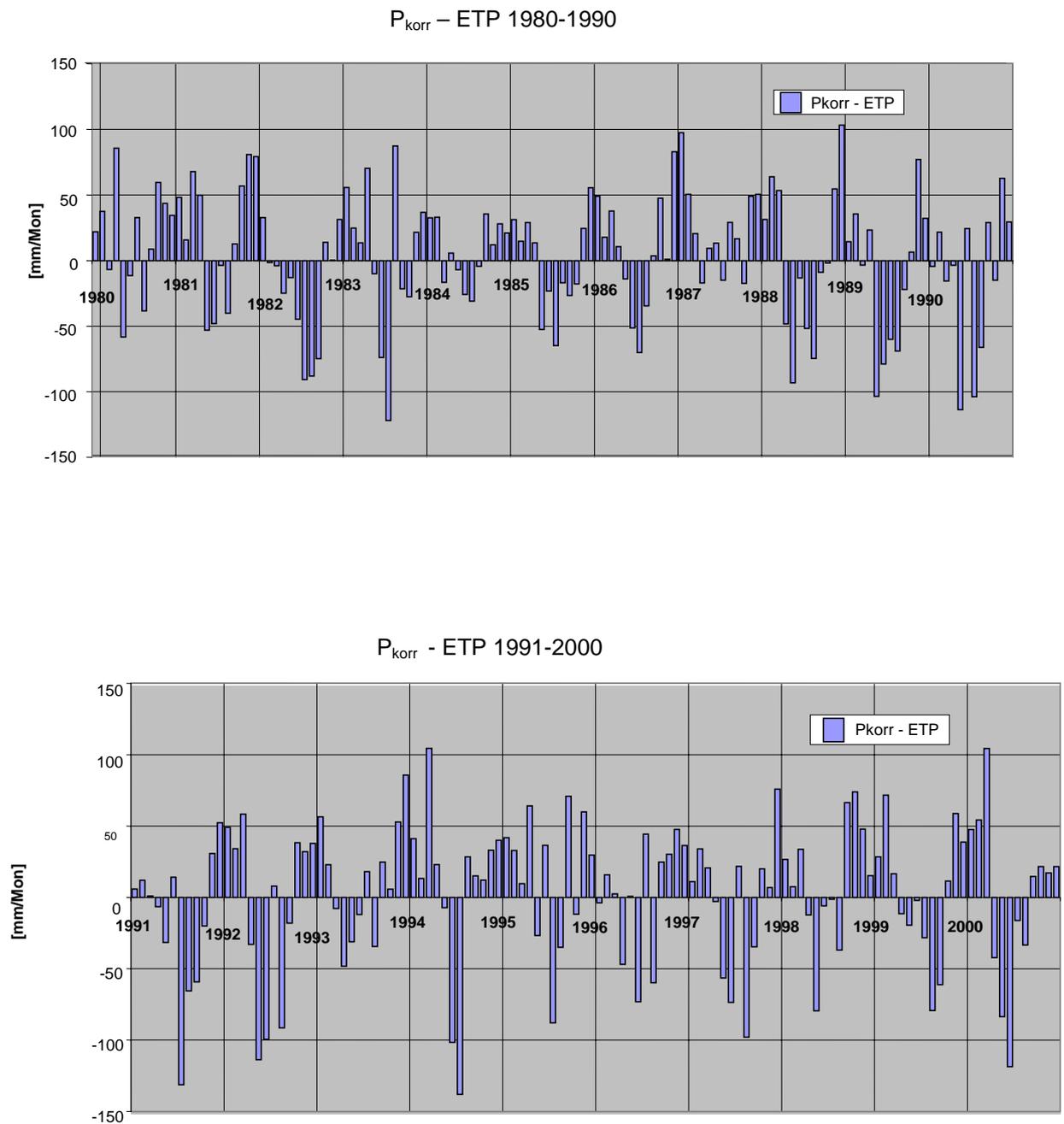
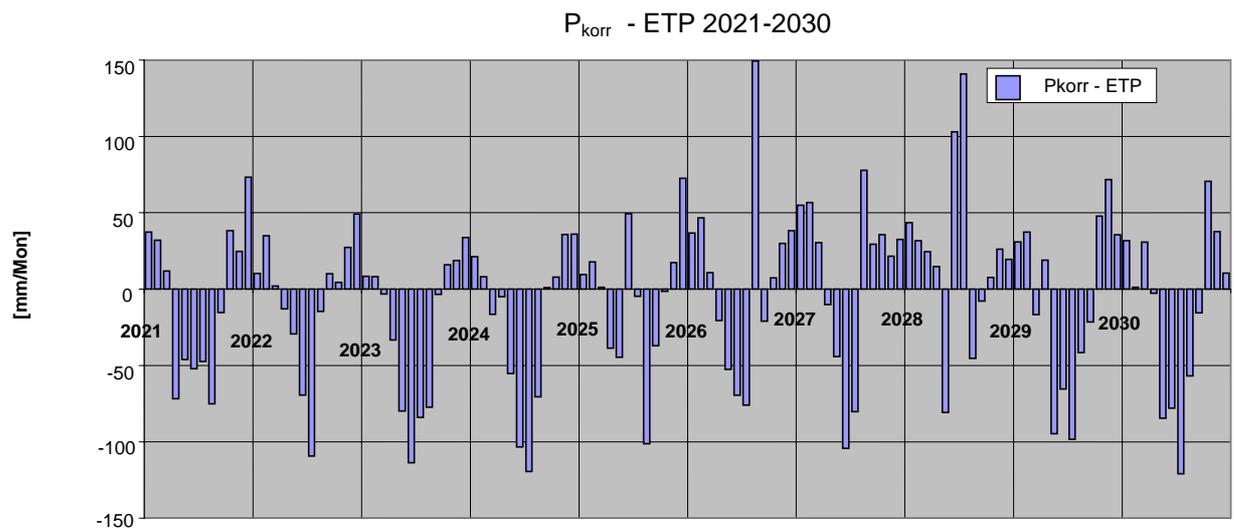
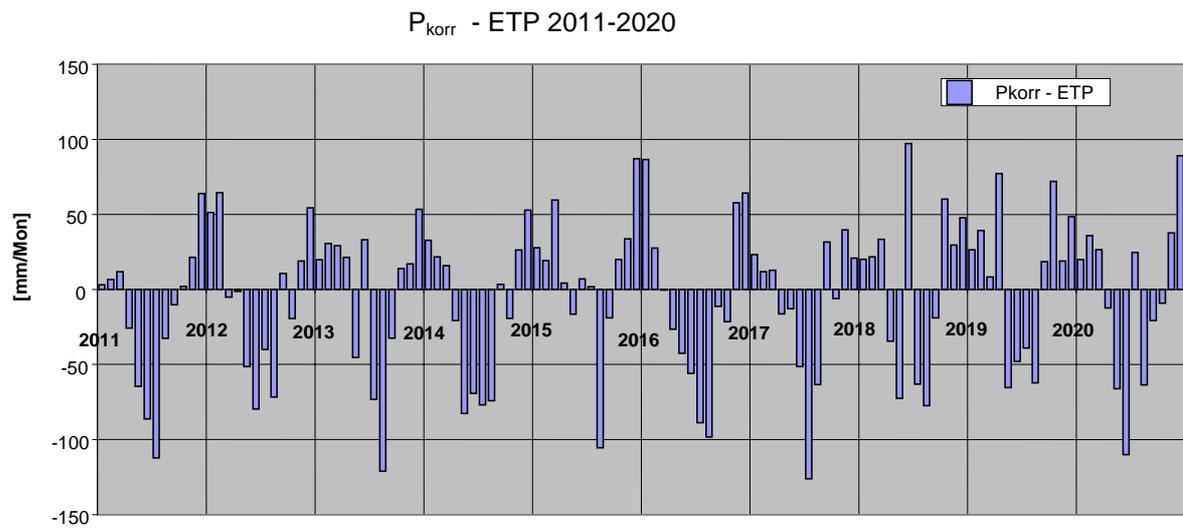
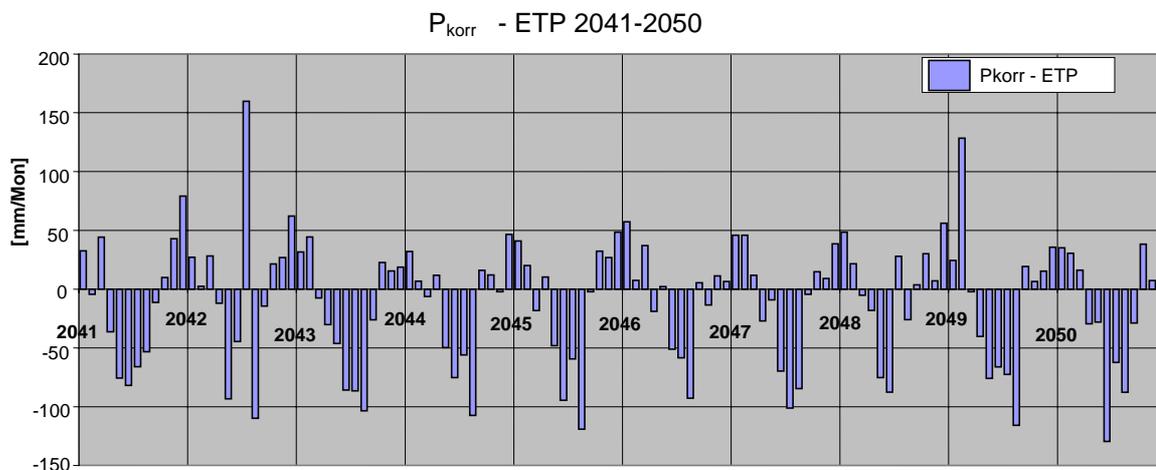


Abbildung 45: Monatssummen der KWB in ausgewählten Dekaden



Fortsetzung Abbildung 45



Fortsetzung Abbildung 45

Hieraus ist zum Beispiel ersichtlich, dass auch im Messzeitraum Sommer deutlich ausgeprägte negative KWB existierten (z. B. 1982, 1985, 1989, 1992). In Einzelmonaten werden allerdings im Prognosezeitraum im Sommer viel häufiger KWB unter -100 mm/m prognostiziert als das im Messzeitraum der Fall war.

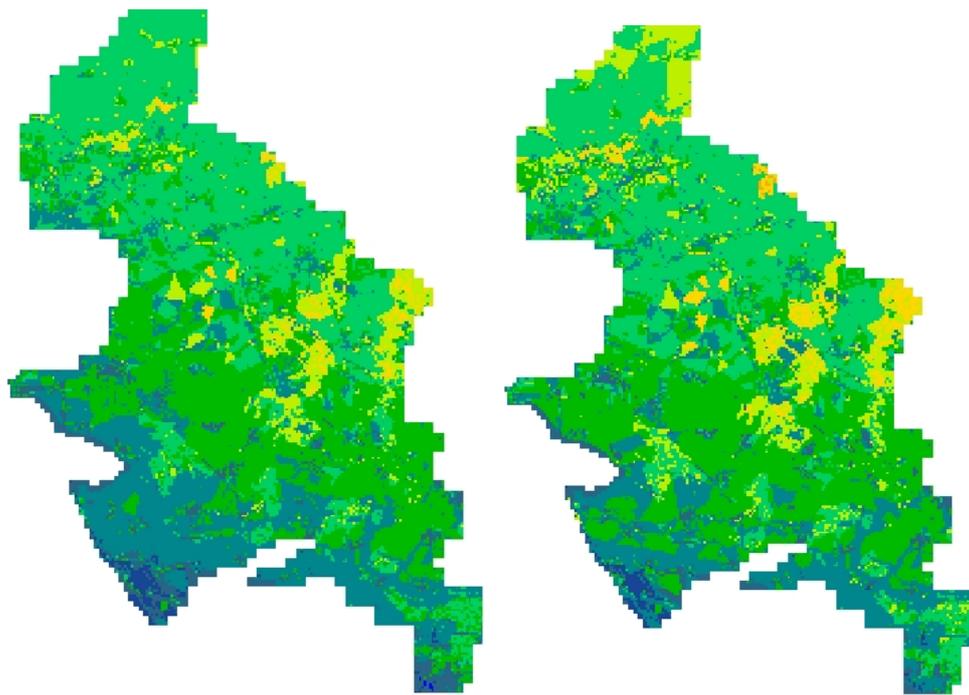
Die positiven Werte der KBW erreichen in den Einzelmonaten im Messzeitraum sehr viel häufiger Werte zwischen +50 mm/Mon und +100 mm/Mon als zum Beispiel in der Dekade 2041-2050, in der das nur selten der Fall ist.

Die langjährigen Monatsmittel der KWB für die einzelnen Dekaden zeigt die folgende Tabelle 28 (für beide Flächennutzungsszenarien hier wie auch im gesamten Bericht: Jahr 1992 mit oder ohne Kennzeichnung - **FN92**, Jahr 2050 – **FN2050**).

Tabelle 28: Monatsmittel der KWB je Dekade

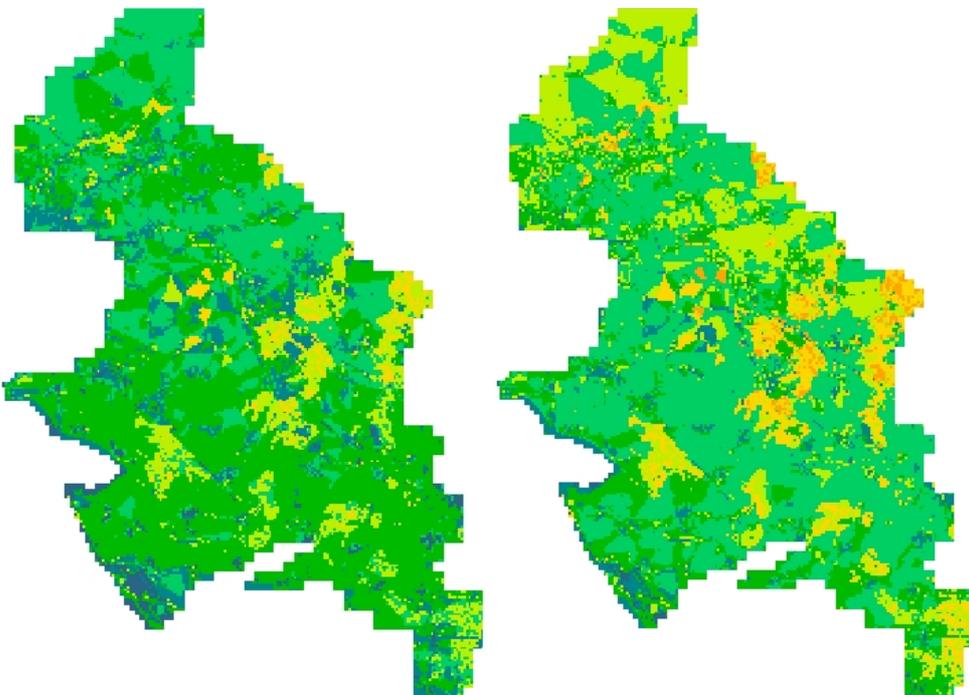
	KWB [mm]											
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1980-1990	37,2	28,5	15,9	15,0	-46,3	-30,3	-52,8	-28,8	-4,4	10,6	40,3	50,6
1991-2000	30,5	29,8	34,3	-11,7	-44,9	-43,6	-31,1	-50,5	4,3	18,1	38,7	43,3
2001-2010	29,0	34,8	39,9	2,1	-39,0	-56,0	-36,1	-65,8	11,1	8,1	28,7	54,8
FN2050	33,5	33,2	41,6	3,8	-35,3	-65,8	-54,3	-70,9	14,7	4,3	24,4	57,3
2011-2020	31,0	27,8	19,1	-3,5	-52,1	-36,4	-59,4	-77,0	-4,9	9,2	30,0	58,2
FN2050	30,9	27,6	18,9	-3,9	-51,5	-35,6	-58,3	-75,4	-4,5	8,8	29,7	57,9
2021-2030	28,5	27,4	7,5	-16,2	-61,2	-50,3	-60,0	-25,6	-8,1	23,4	31,1	40,1
FN2050	28,3	27,2	7,2	-16,7	-60,8	-49,5	-58,8	-23,9	-7,7	23,0	30,7	39,8
2031-2040	39,4	22,4	26,2	-21,4	-42,6	-47,3	-45,1	-22,1	-1,8	17,6	42,5	45,7
FN2050	39,3	22,2	26,0	-22,0	-42,2	-46,4	-44,1	-20,6	-1,2	17,3	42,2	45,3
2041-2050	37,6	30,3	9,8	-19,0	-49,9	-78,6	-37,5	-90,0	-4,3	17,4	16,0	45,2
FN2050	37,7	30,1	8,8	-18,5	-51,9	-72,1	-33,4	-88,7	-1,0	14,8	16,6	43,2

Die nachfolgenden Bilder der Abbildung 46 zeigen die Verteilung der langjährigen Mittel der jährlichen klimatischen Wasserbilanz im UG.



1980-1990: 36,5 mm/a

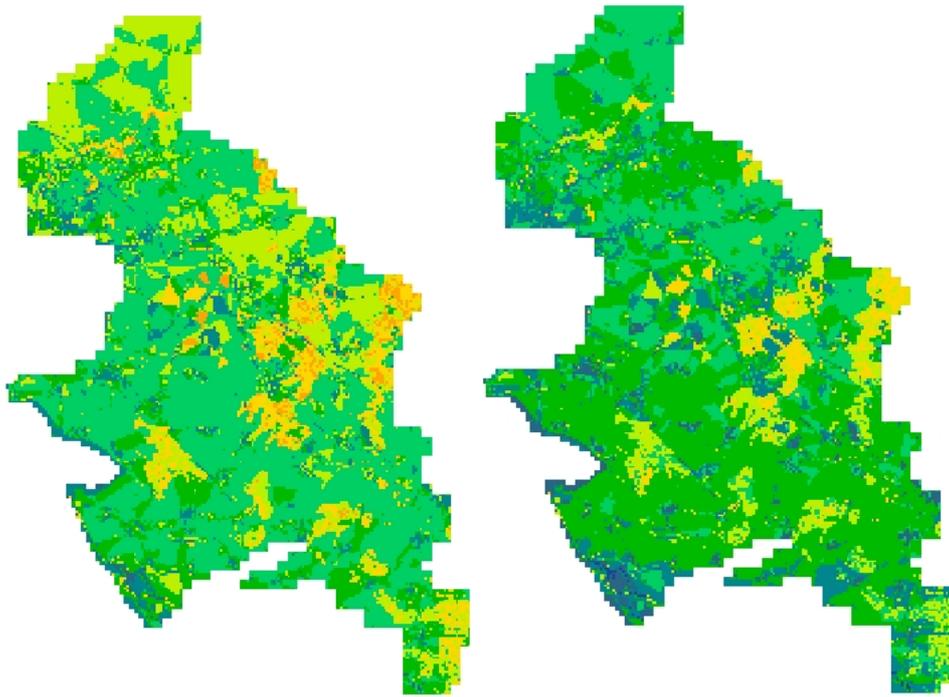
1991-2000: 17,3 mm/a



2001-2010: 11,7 mm/a

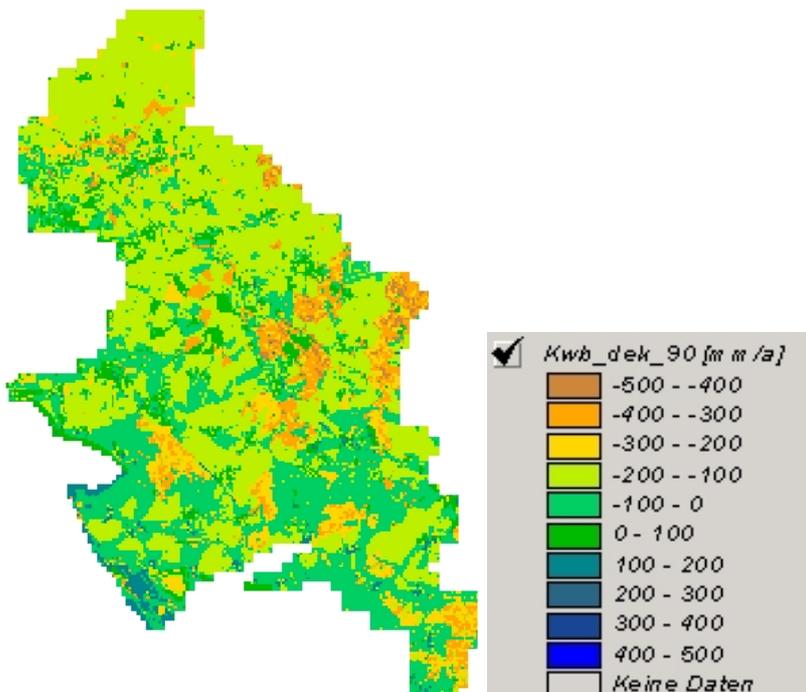
2011-2020: -57,9 mm/a

Abbildung 46: Mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz im UG (Legende vgl. S. 79)



2021-2030: -63,4 mm/a

2031-2040: 13,5 mm/a



2041-2050. -122,9 mm/a

Fortsetzung Abbildung 46

Die Bildern zeigen zum einen die "Vererbung" aus den Niederschlagsbildern (Abbildung 14), indem teilweise die Verringerung der Niederschläge von Südwesten nach Nordosten "durchscheinen", zum anderen ist sehr deutlich die Differenzierung der KWB nach der Flächennutzung erkennbar. Insbesondere die Waldflächen mit den deutlich erkennbaren gering bis stark negativen Werten der KWB treten deutlich hervor.

Die geänderte Flächennutzung (FN2050) im Prognosezeitraum bringt keine nennenswerten Unterschiede zur Flächennutzung zum Stand 1992 (Abbildung 43, Abbildung 44, Tabelle 28). Das betrifft sowohl die Jahressummen (Abbildung 43) als auch die Monatsmittel (Abbildung 44). Besonders die letztgenannte Abbildung zeigt, dass die Unterschiede zwischen den Mess- und Prognoseperioden bei gleichem Flächennutzungsszenario (FN92) größer sind als zwischen den verschiedenen Flächennutzungsszenarien in der Prognoseperiode.

8.2 Reale Evapotranspiration (ETR)

Die realen jährlichen Verdunstungshöhen als Mittel über das gesamte UG sind in der Abbildung 47 aufgetragen. Der Vergleich zwischen der Flächennutzung zum Stand 1992 und der zum Prognosestand 2050 ist durch die beiden unterschiedlichen Linien gegeben.

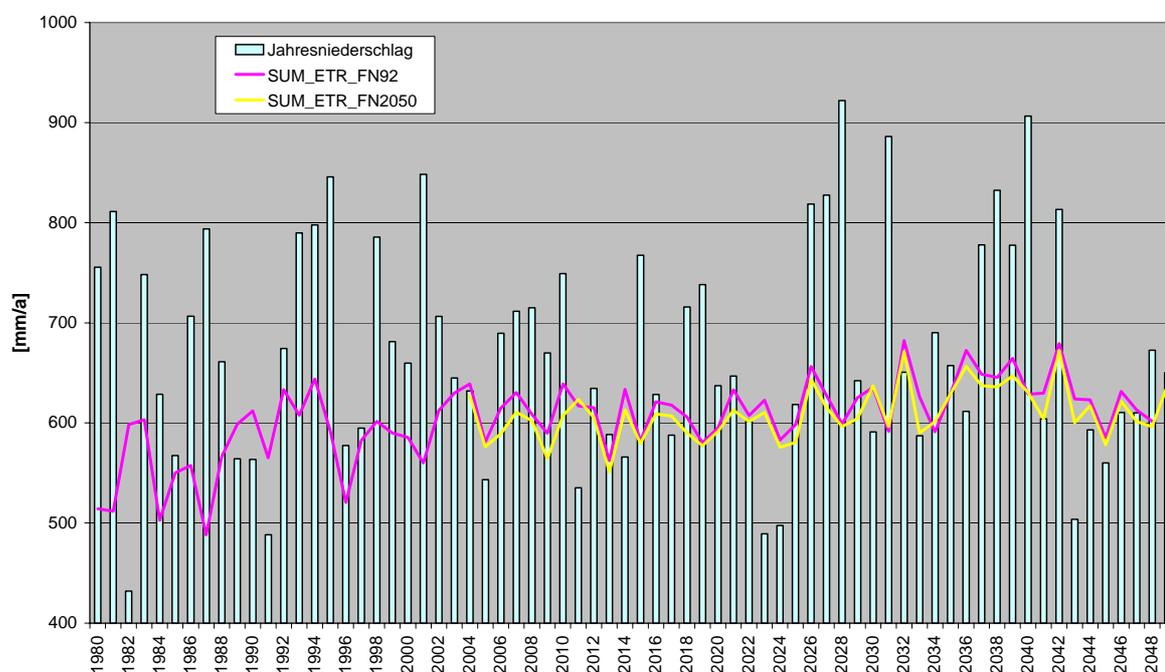


Abbildung 47: Jährliche ETR und Niederschläge im UG

Als Trend ist eine geringe stetige Erhöhung der ETR bis zum Jahre 2050 abzulesen. Allerdings besitzt die ETR in den 80er Jahren Werte zwischen 500-600 mm/a und in den Jahren 2030-2050 zwischen 600-660 mm/a. Der Unterschied zwischen den beiden Flächennutzungsvarianten ist dabei fast unerheblich (**FN92**: Flächennutzung Stand 1992 für den gesamten Zeitraum gerechnet, **FN2050**: Flächennutzung Prognosestand 2050 von 2004 an gerechnet).

Das wird auch durch die Tabelle 29 belegt. Lediglich die Dekade 2041-2050 bringt eine Unterbrechung dieser Entwicklungsrichtung.

Tabelle 29: Mittlere jährliche Verdunstungshöhen in den Dekaden

	Mittlere jährliche Verdunstungshöhen in den Dekaden [mm/a]						
	1980-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
FN92	554	592	610	603	619	638	605
FN2050			597	595	608	630	614

Die Flächennutzungsvarianten zeigen deutlichere Unterschiede bei der monatlichen Betrachtung der ETR (Abbildung 48).

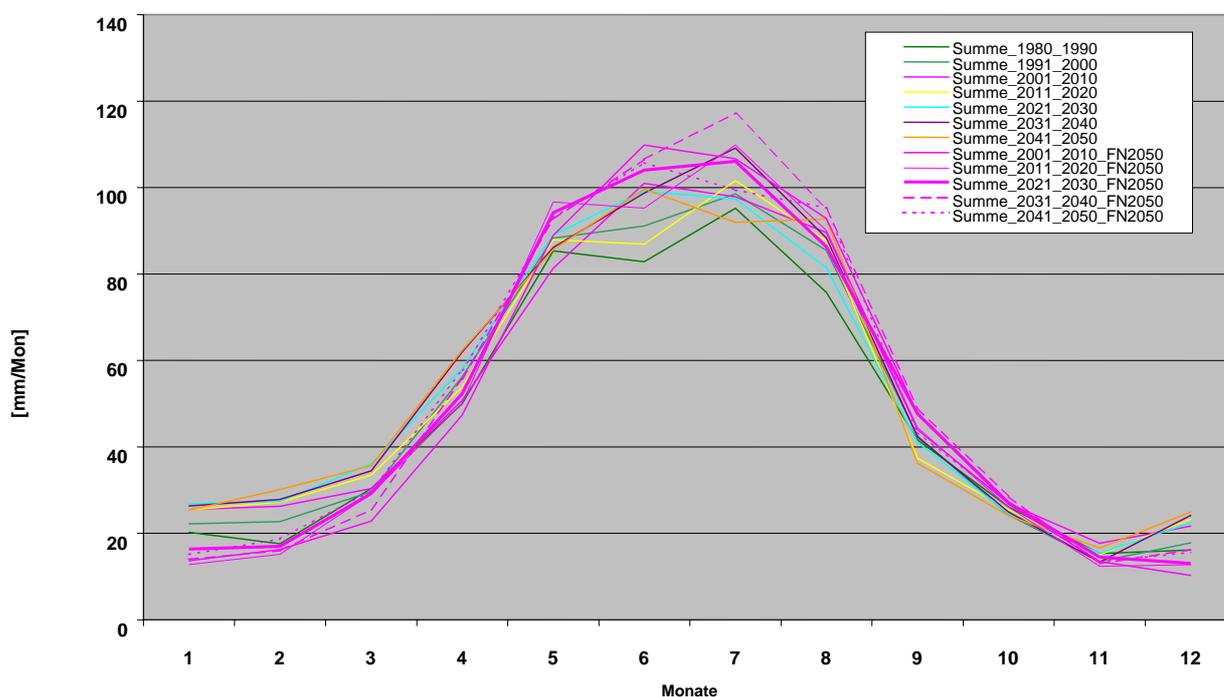


Abbildung 48: Mittlere Monatssummen ETR, beide Flächennutzungsvarianten

In den Sommermonaten ist mit der prognostischen Flächennutzung zum Stand 2050 eine deutlich höhere ETR prognostiziert als mit der derzeitigen FN92. In den Wintermonaten verhält sich die ETR gerade umgekehrt. Die höheren Winterniederschläge im Prognosezeitraum bewirken auch bei deutlich höheren Lufttemperaturen keine höhere Verdunstung, da die Vegetation weitestgehend in der Winterruhe ist. Im Sommer führen die vergrößerten Waldflächen zu erhöhten Werten der ETR.

Die Abbildung 49 zeigt die an den Lysimetern gemessene ETR in den Jahren 1981-1997 (minimale, mittlere und maximale Werte der 8 Lysimetergruppen mit je 3 Wiederholungen) sowie die mittlere mit WaSiM-ETH berechnete ETR auf den Landwirtschaftsflächen in den gleichen Jahren.

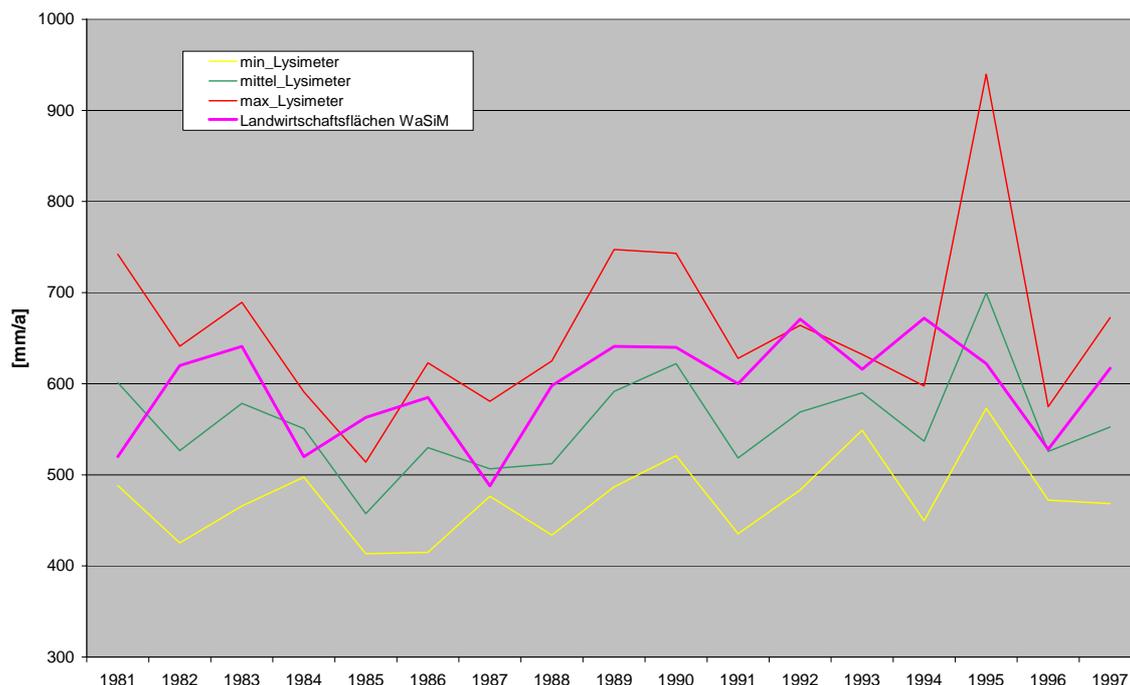


Abbildung 49: ETR auf Lysimetern und WaSiM-ETH-Ergebnisse für Landwirtschaftsflächen

Der Bewuchs auf den Lysimetern entspricht dem Mittel der Ackeranbaufläche in deren Umgebung. Die mit WaSiM-ETH bestimmte ETR im UG basiert auf dem mittleren Feldfruchtbesatz im gesamten UG. Aus der geologischen Karte ist ersichtlich (Anlage 3), dass im UG rd. 3 % der Fläche durch Löss- und Gehängelehmflächen sowie rd. 10 % durch entsprechende Profile der Gruppe 7 (Flächen mit Geschiebelehmverbreitung), die dem Lösslehm adäquat sind, eingenommen werden. Somit können auch die sog. Lösslysimeter (Nr. 9, Nr. 10) mit für die Mittelwertbildung herangezogen werden.

Die durch WaSiM-ETH berechneten ETR auf Landwirtschaftsflächen liegen bis auf wenige Jahre (Kartoffeln 1985, trockenes Jahr, Grünbrache 1994, feuchtes Jahr) in dem durch die Lysimeter aufgespannten Rahmen der ETR und sind, obwohl sie etwas hoch erscheinen, mit den Messwerten an den Lysimetern vergleichbar.

Die von WaSiM-ETH simulierten realen Verdunstungshöhen, aufgeschlüsselt auf einige wesentliche Flächennutzungsarten, sind für die einzelnen Dekaden und die beiden Flächennutzungsszenarios in der Tabelle 30 aufgelistet (*in den Dekaden bis 1990 und bis 2050 sind auch die Werte der KWB eingefügt (fett und kursiv)*).

Tabelle 30: ETR für Flächennutzungsarten, Dekaden und Flächennutzungsszenarios

Flächennutzung		ETR [mm/a]								
		1981-1990		1991-2000	2001-2010	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	
Dauergrünland	FN92	543	34	576		595	609	624	620	-87
	FN2050				593	591	603	623	610	
Acker	FN92	581	40	617		636	652	667	663	-121
	FN2050				650	651	673	684	683	
Besiedlung	FN92	399	149	427		446	454	481	464	30
	FN2050				435	451	448	472	459	
Wald	FN92	628	-89	662		655	657	694	650	-297
	FN2050				689	656	663	712	660	

Wenn, wie oben beschrieben, die ETR über Acker im Zeitraum 1981-1997 als mit den Lysimeterdaten vergleichbar anzusehen ist, dann ist für den Prognosezeitraum eine deutliche Erhöhung der ETR zu prognostizieren, die hauptsächlich den höheren Lufttemperaturen geschuldet sein dürfte. Die Umstellung auf die konservierende Flächenbearbeitung im Szenario FN2050 bringt nochmals eine Erhöhung der ETR um 20 mm/a. (Wie im Kapitel 5.5.4 beschrieben, ist diese Anbaumethode auch mit einer Vegetationsbedeckung zu den Stützpunkten d_1 und d_4 versehen worden. Unter Umständen beruht diese deutliche Erhöhung um 20 mm darauf.) Verdunstungsleistungen zwischen 650-685 mm/a werden im gegebenen Falle lediglich von den Lösslysimetern (Wintergetreide, Rettich, Klee, Sommerweizen in den Jahren 1983, 1989 und 1990, 1992, 1995, 1997) erbracht. Da diese Bodenverhältnisse aber nicht die Regel im Parthegebiet darstellen, sind die prognostizierten ETR als relativ hoch anzusehen. Ein Grund für die hoch berechneten Werte könnte darin liegen, dass mit der Verwendung von nur 4 Stützpunkten (d_1 bis d_4) der Vegetationsverlauf im Modell nicht ausreichend konkret dargestellt werden konnte. Vielleicht ist auch die Vegetationsperiode kürzer anzusetzen. Weiterhin ist anzumerken, dass die für die Modelle verwendeten verdunstungswirksamen Parameter nicht für Zeiträume mit deutlich höheren Lufttemperaturen, wie prognostiziert, entwickelt bzw. abgeleitet worden sind.

Wie für den Acker, steigen auch die realen Verdunstungshöhen für Dauergrünland um 77 mm/a, Wald- und Siedlungsflächen (65 mm/a bzw. 22 mm/a) vom Messzeitraum bis zum Ende des Prognosezeitraumes an (Tabelle 30). Im Gegensatz zum Acker lassen sich aber in der Höhe der ETR keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Flächennutzungsszenarios erkennen.

Die Verbreitung der ETR im gesamten UG ist in den folgenden Abbildungen illustriert (Abbildung 50, Abbildung 51, Abbildung 52). Dabei stellen die Bilder in Abbildung 50 den Messzeitraum dar. Im Zeitraum 1991-2000 fallen die Waldbereiche südlich von Großpösna und südöstlich von Belgershain als Bereiche mit hoher ETR auf (Böden mit zum Teil flurnahen Grundwasserständen). Die Waldgebiete auf der Wasserscheide zur Mulde hingegen sowie östlich von Glasten sind eher Flächen mit mittlerer ETR (flache Böden über Festgestein).

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen die Gegenüberstellung der beiden Flächennutzungsszenarios in den Zeiträumen 2031-2040 und 2041-2050. Obwohl im Szenario 2050 jedes Mal geringere mittlere ETR ermittelt werden, ist ihre Differenzierung auf der Fläche größer als zur Flächennutzung FN92.

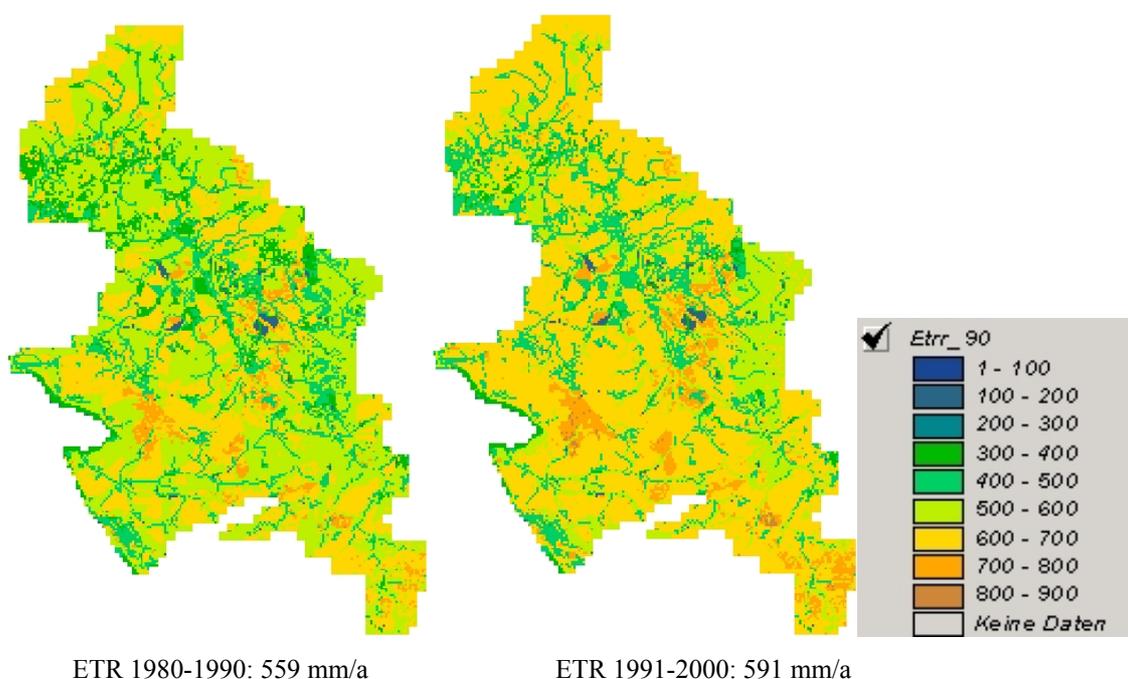


Abbildung 50: Mittlere jährliche reale Evapotranspiration im UG, FN92

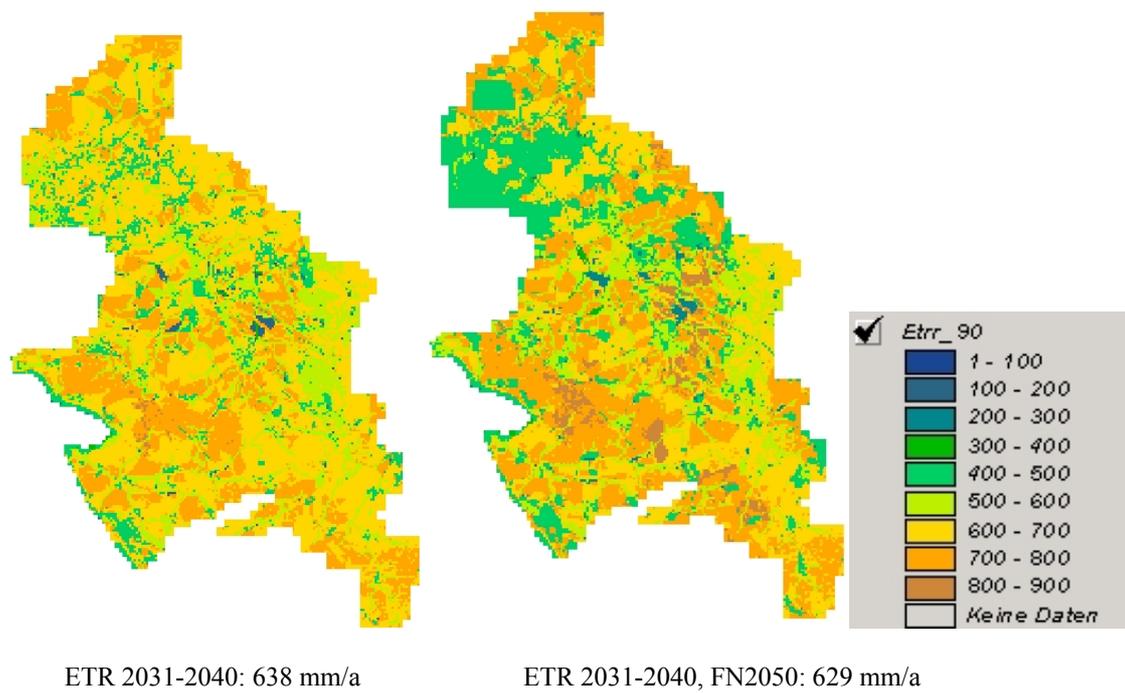


Abbildung 51: Mittlere jährliche reale Evapotranspiration im UG, FN92 und FN2050

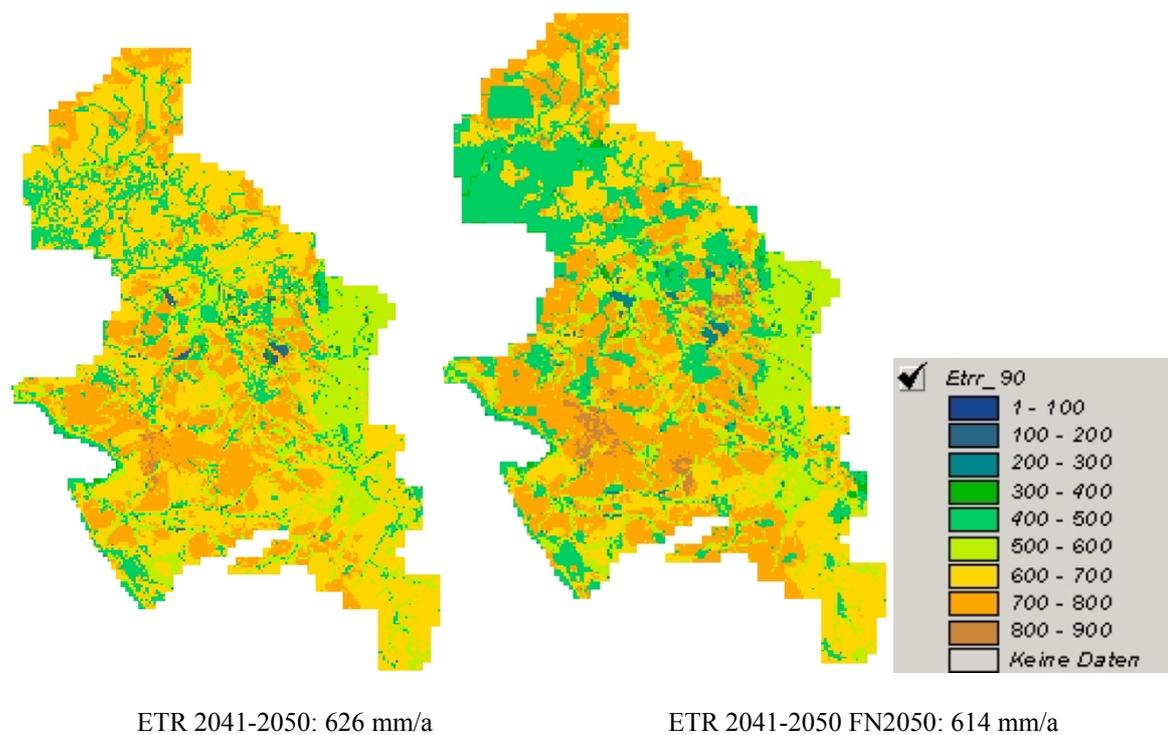


Abbildung 52: Mittlere jährliche reale Evapotranspiration im UG, FN92 und FN2050